

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Leiter: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

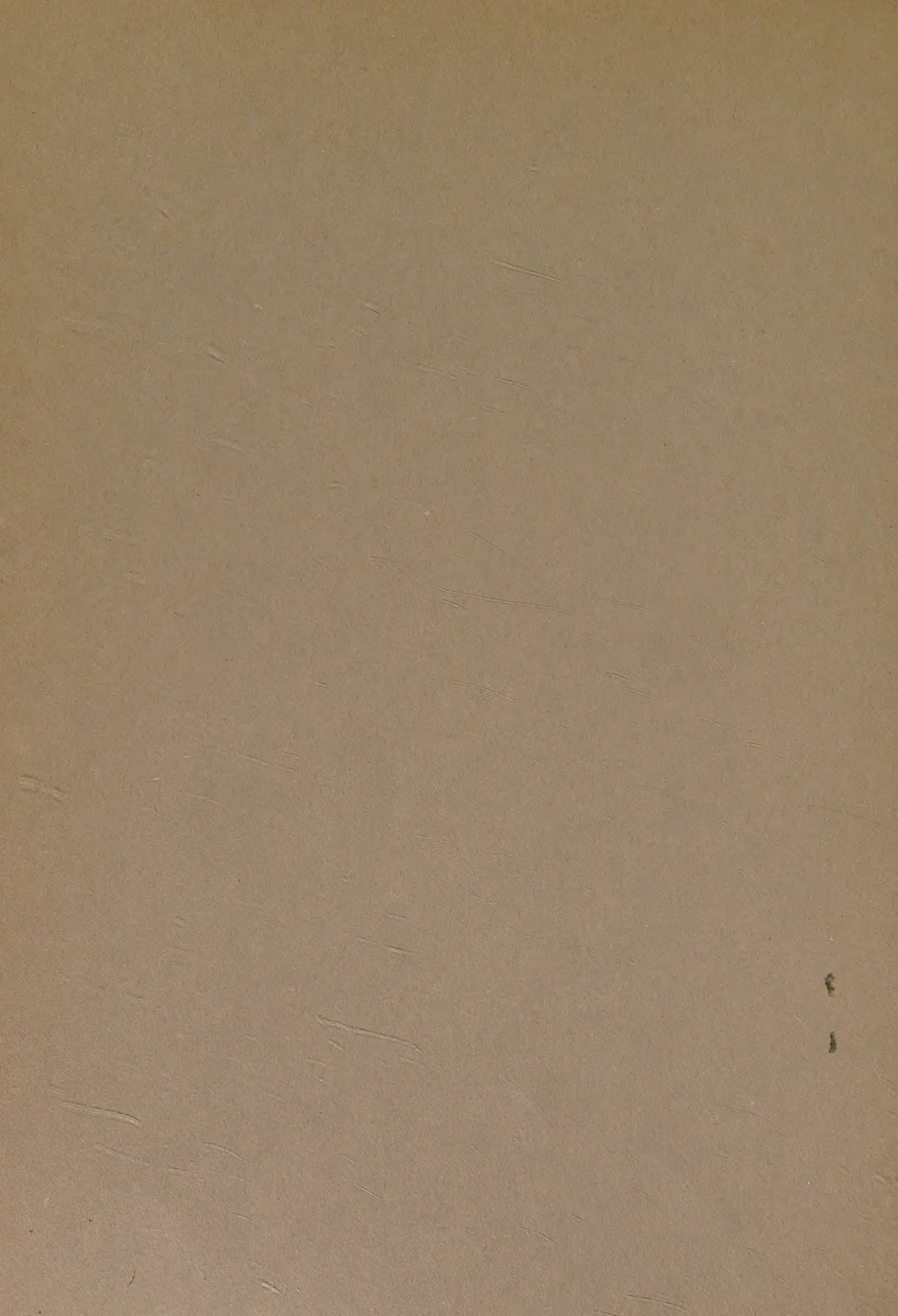
**MESSUNG EINER DURCH ZAHNBÜRSTEN OHNE
SCHLEIFMITTEL HERVORGERUFENEN ABRASION
AN KUNSTSTOFFEN EINSCHLIESSLICH KOMPOSITEN**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von
Thomas Sonntag
aus Chemnitz

Mainz 1975

1976
—





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Dissertationsdruck

Blasaditsch GmbH • 89 Augsburg 17 • Theodor-Heuß-Platz 3 • Telefon (0821) 51 85 63

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Leiter: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Messung einer durch Zahnbürsten ohne
Schleifmittel hervorgerufenen Abrasion
an Kunststoffen einschließlich Kompositen

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von

Thomas Sonntag

aus Chemnitz

Mainz 1975

Fachbereichsdekan : Prof. Dr. K. Fuhr
Referent : Prof. Dr. H. Marx
Korreferent : Prof. Dr. K. Fuhr
Tag der mündlichen Prüfung: 5. Mai 1976



Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	1
II. Betrachtungen zu Meßverfahren	4
III. Eigenes Meßverfahren	9
IV. Abrasionsmaschine	11
V. Prüfkörperherstellung	13
1. Herstellung des Urmodells	13
2. Herstellung der Form	15
3. Polymerisation der Prüfkörper	17
VI. Abrasionsversuche	19
VII. Ergebnisse	22
1. Bedeutung der Meßwerte	22
2. Statistische Auswertung	24
3. Aufstellung der Ergebnisse	26
a) Versuch Nr. 1	26
b) Versuch Nr. 2	31
c) Versuch Nr. 3	38
VIII. Zusammenfassung	57
IX. Literaturverzeichnis	59

18-10-1944

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 5. ...
- 6. ...
- 7. ...
- 8. ...
- 9. ...
- 10. ...

...

- 11. ...
- 12. ...
- 13. ...
- 14. ...
- 15. ...
- 16. ...
- 17. ...
- 18. ...
- 19. ...
- 20. ...

I. Einleitung

Der in der Zahnheilkunde verwendete Kunststoff verliert während seines Gebrauches an besonders beanspruchten Regionen auffällig Substanz. Dieser Verlust wird hauptsächlich als eine Folge der Abrasion gedeutet und nur im geringen Maß als eine Folge der Korrosion verstanden, mit der sich HENKEL (10) und JANKE (14) befaßt haben.

Zur Klärung der Frage, was die Abrasion verursacht und welche Materialien besonders widerstandsfähig sind, wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24). Ungefähr die Hälfte der Autoren ermittelte dabei den Masseverlust, was wegen der lang anhaltenden Wasseraufnahme der Kunststoffe nicht unproblematisch ist. So stellte HÖHNLE (11) als Folge der Quellung nach den Abrasionsversuchen teilweise einen Massezuwachs fest. BEYELER und MOSER (2) berichteten: "Weder natürliche Zähne noch solche aus Acrylat haben exakte Resultate ergeben, weil die Wasseraufnahme bei den Untersuchungen immer größer war als der Abrasionseffekt." Sie haben schließlich die Wasseraufnahme rechnerisch kompensiert. SCHMITZ et al. (19) verringerten den Quellungsfehler durch Lagerung der Prüfkörper in Wasser, bis diese ihr Gewicht über 24 Stunden um nicht mehr als 0,001 p veränderten. Langzeitversuche von FRANZ (8) mit in Wasser gelagerten Plexiglasplatten führten selbst nach 10 Wochen zu keiner Gewichtskonstanz.

Die Methode der anderen Autoren, die Dicke der abgetragenen Materialschicht zu messen, erfordert sehr genaue Längenmeßgeräte und wird um so komplizierter, je unregelmäßiger die Oberfläche abradiert wurde. SCHOLZ (20) versuchte durch 15 Messungen je Prüfkörper die durchschnittliche Tiefe einer gekrümmten Abrasionsspur

zu bestimmen. Mit nur einer Messung kamen SCHILLER (18) und BÖHL (4) aus, weil ihre Prüfkörper über die gesamte Abrasionsfläche gleichmäßig stark abgenutzt wurden.

Durch Schleifmittel wird die Abrasion relativ groß und damit besser meßbar. Sie ist dann aber nicht in jedem Fall allgemeingültig, denn die Beständigkeitsreihenfolge der Materialien gegenüber Abrasion ist mit vom Schleifmittel abhängig. So war in der Arbeit von STREITL (22) der Abrieb bei VITA-K+B 93 im Zahnbürstentest mit Bimsstein größer als bei einem mit anorganischen Füllstoffen versehenen Material, während im Test mit Blendamed der Prüfkörper mit den Füllstoffen einen um 14 % höheren Abrieb als VITA-K+B 93 aufwies. Daneben gibt es nach den Darstellungen BIESKES (3), BREMSERS (5) und SCHILLERS (18) am Beispiel der Schmirgelleinwand auch innerhalb mancher Schleifmittelarten Unterschiede in Abriebkraft und Beständigkeit. Es liegt deshalb nahe, die Fehlerquelle Schleifmittel auszuschalten. Dazu bieten sich zwei Möglichkeiten an. Man läßt einen Prüfkörper entweder gegen einen massiven Körper oder gegen eine Bürste abradieren. Im ersten Fall kann relativ hoher Druck angewendet werden, was die Abrasion beschleunigt. Im Zahnbürstenversuch muß der Anpreßdruck mit Rücksicht auf die Borstenstabilität niedrig bleiben. Dafür besteht der Vorteil, daß schon bei Versuchsbeginn die Prüfkörperoberfläche überall gleichmäßig von den Borsten bestrichen wird, weil sich die Borsten durch ihre Elastizität allen Unebenheiten anpassen. Versuche dieser Art wurden durchgeführt von HOFFMANN (12), FLERLAGE (7) und FRANZ (8). HOFFMANN (12) erzielte bei einem Bürstendruck von 80 p und 300 Hin- und Herbewegungen pro Minute nach 5 Stunden Einzelriefen von maximal 0,5 μ m Tiefe. FLERLAGE (7) berichtet von einem ca. 0,7 μ m starken Abrieb nach 10 Stunden, wogegen FRANZ (8) keine meßbaren Abrasionen auf einem Prüfkörper

aus Verblendkunststoff fand.

Das Abrasionsverhalten des Kunststoffes im reinen Bürstentest ist noch nicht hinreichend geklärt. Es sollte aber als ein Teil der komplizierten Abrasionsvorgänge an Verblendkunststoffen näher beschrieben werden. Dies zu tun und ein geeignetes Meßverfahren zu entwickeln, um die erwartungsgemäß sehr geringen Abriebmengen zu bestimmen, soll Aufgabe dieser Arbeit sein.

II. Betrachtungen zu Meßverfahren

Will man feststellen, wieviel von einem Kunststoffblock abgetrennt wurde, so legt man das zu bestimmende Stück auf die Waage. Leider ist diese direkte und daher genaue Methode bei den durch Abrasion weggenommenen Partikeln nicht anwendbar, da diese zu klein sind, um sie aufzufangen. Man muß daher den verbliebenen Körper wiegen und seine Masse von der Masse vor Versuchsbeginn subtrahieren. Das Ergebnis gibt unter gewissen Umständen die Masse der abradierten Substanz an. Diese Einschränkung ist notwendig, weil hier im Gegensatz zur direkten Methode mehr Fehlerquellen bestehen. Die erste resultiert aus der zusätzlichen Messung. Eine weitere ergibt sich aus den im Verhältnis zur Abrasion außerordentlich großen Massen. Fünf Milligramm lassen sich bekanntlich sehr viel leichter auf ein Milligramm genau bestimmen als einige Tonnen. Je geringer also die Abrasion und je größer der Prüfkörper ist, desto mehr verschwindet die Abrasionsgröße im Meßfehler. Die bedeutendste Fehlerquelle schließlich besteht in der Fähigkeit des Kunststoffes, Monomer abzugeben (14) und Wasser aufzunehmen. Die Quellung beträgt je nach Kunststoff bis zu 2,3 % (6). Schon die Änderung der Luftfeuchtigkeit bewirkt eine Änderung des Wassergehaltes von in Luft gelagertem Kunststoff. So hat HÖHNLE (11) bei einigen Prüfkörpern nach der Abrasion als Folge allein der Luftfeuchtigkeitsänderung ein größeres Gewicht festgestellt als vor dem Versuch. Durch genügend lange Lagerung in Wasser läßt sich dieser Fehler verringern, wie SCHMITZ et al. (19) beschrieben haben.

Die Genauigkeit ist natürlich auch davon abhängig, wie gleichmäßig die Körper vor dem Wägen getrocknet wurden. Haftet ihnen auch nur stellenweise ein Wasserfilm an, wiegen sie mehr. Konnte bereits wieder Quellungswasser verdunsten, wiegen sie weniger.

Abrasion bedeutet auch Längenabnahme. In diese Dimension läßt sich ein Masseverlust mit folgender Formel umrechnen.

$$a \times F = V$$

$$V \times U = M$$

$$a \times F \times U = V \times U$$

$$(I) \quad a = \frac{M}{F \times U} \quad [mm] = \left[\frac{\frac{mg}{mm^3}}{\frac{mm^2}{mm^3}} \right]$$

V=Volumen, M=Masse, F=Fläche, a=Länge, U=spezifisches Gewicht $\frac{mg}{mm^3}$

Errechnet man den Materialverlust a auf der Fläche F, der der Meßgenauigkeit einer Waage entspricht, so erhält man den Grenzwert, von dem an eine Längenmessung genauer ist als Wägen. Liegt die Meßgenauigkeit der Waage bei 0,05 mg und beträgt die Oberfläche des Prüfkörpers $5 \times 14 \text{ mm}$, so ergibt sich beim spezifischen Gewicht von Paladon von ca. $1,17 \text{ mg/mm}^3$ (9) folgende Rechnung.

$$a = \frac{0,05}{5 \times 14 \times 1,17} [mm]$$

$$a = 0,6105 \mu m$$

Ein Längenmeßgerät mit dieser Genauigkeit ist einer Waage mit 0,05 mg Genauigkeit bei der angegebenen Oberflächengröße gleichwertig.

Das Längenmeßverfahren ist bei einer gleichmäßig planen Abrasion zu bevorzugen, denn es unterliegt geringeren Störungen. So ist es ohne Bedeutung, wieviel Wasser noch irgendwo am Prüfkörper haftet. Darüberhinaus verursacht die Quellung einen weit geringeren Fehler, wie folgende Formel zeigt. Dabei ist angenommen, daß sich der Kunststoff um das Volumen des Quellungswassers ver-

größert und nichts ähnlich wie ein Schwamm aufsaugt.

$$V = a \times b \times c$$

$$V + V \times X = (a + a \times y)(b + b \times y)(c + c \times y)$$

$$V(1 + X) = a(1 + y)b(1 + y)c(1 + y)$$

$$1 + X = (1 + y)^3$$

$$y = \sqrt[3]{1 + X} - 1$$

V=Volumen, a=1.Seitenlänge, b=2.Seitenlänge, c=3.Seitenlänge, X=Faktor der Volumenzunahme, y=Faktor der Seitenlängenzunahme

Sehr viel deutlicher erscheint der Zusammenhang mit folgender Näherung (21).

$$\sqrt[3]{1+X} \approx 1 + \frac{X}{3} \quad \text{Fehler} < 0,1 \% \text{ für } -0,090 < X < 0,098$$

$$\text{Fehler} < 1 \% \text{ für } -0,262 < X < 0,342$$

Es gilt:

$$y \approx 1 + \frac{X}{3} - 1$$

$$(II) \quad y \approx \frac{X}{3}$$

Tatsächlich ist die Längenänderung noch etwas geringer, denn laut EICHNER (6) wächst bei der Quellung das Volumen nicht ganz in dem Maß wie die Masse.

Da die Volumenzunahme in unseren Betrachtungen 9 % gleich 0,09 nicht überschreitet, beträgt die Ungenauigkeit des Längenfaktors X weniger als ein tausendstel seines Wertes. Etwas bedeutender ist dagegen der Fehler, der sich bei unserer Betrachtung aus den verschiedenen spezifischen Gewichten von Prüfkörper und Wasser ergibt. Solange zwischen ihnen kein Unterschied besteht, gilt X ohne Zusatz auch als Faktor der Massezunahme, denn die Masse ist dem Volumen über das spezifische Gewicht des betreffenden Materials propor-

tional. Diese Proportionalität ändert sich jedoch, wenn ein anders spezifisches Gewicht auftritt und das Ergebnis ein Längenfaktor ist, während die Aufgabe die Dimension Masse statt Volumen besitzt. Wird das Material des Prüfkörpers mit Wasser "verdünnt", so unterscheidet sich also der Volumenzuwachs in % vom Massezuwachs in %. Aus folgender Formel geht der dargestellte Zusammenhang hervor.

$$M_2 = U_2 [V_2 - V_1]$$

$$V_2 = V_1 (1+X)$$

$$M_2 = U_2 [V_1 (1+X) - V_1]$$

$$M_2 = U_2 [V_1 (1+\frac{3X}{3}) - V_1]$$

$$\text{laut Formel II ist } y \approx \frac{X}{3}$$

$$M_2 \approx U_2 [V_1 (1+3y) - V_1]$$

$$M_2 \approx U_2 [V_1 + V_1 3y - V_1]$$

$$M_2 \approx U_2 V_1 3y$$

$$\text{mit } M_2 = M_1 X \text{ folgt}$$

$$M_1 X \approx U_2 V_1 3y$$

$$\text{mit } M_1 = U_1 V_1 \text{ folgt}$$

$$U_1 V_1 X \approx U_2 V_1 3y$$

$$(III) \quad y \approx \frac{X}{3} \times \frac{U_1}{U_2}$$

=====

V_1 = Prüfkörpervolumen vor der Quellung, V_2 = Prüfkörpervolumen nach der Quellung, M_1 = Masse des Prüfkörpers ohne Wasser, M_2 = Masse des Wassers, U_1 = spezifisches Gewicht des Prüfkörpers ohne Wasser, U_2 = spezifisches Gewicht des Wassers, X = Faktor der Volumenzunahme, y = Faktor der Seitenlängenzunahme

Bei einer Quellung von Paladon um 3 % seiner Masse vergrößert sich eine Seite nur um 1,17 %, wie die Rechnung zeigt.

$$y \approx \frac{0,03}{3} \times \frac{1,17}{1} \quad \left[\begin{array}{l} \text{spez. Gewicht Paladon} \\ = 1,17 \frac{\text{mg}}{\text{mm}^3} \end{array} \right]$$
$$\underline{y \approx 0,0117}$$

Der Quellungsfehler ist demnach beim Wägen fast dreimal so groß wie bei der Längenmessung.

Der dritte Vorteil der Längenmessung gegenüber dem Wägen besteht darin, daß nicht der gesamte Körper gemessen werden muß. Es ist nämlich bei geeigneter Meßanordnung möglich, nur einen minimalen Bruchteil einer Seitenlänge zu erfassen. Dies steigert die absolute Meßgenauigkeit und mindert den absoluten Quellungsfehler.

III. Eigenes Meßverfahren

Die Vorteile der Längenmessung - Senkung des prozentualen Quellungsfehlers auf ca. 39 % (für Paladon), Unabhängigkeit der Messung von anhaftendem Wasser und die Möglichkeit der Verkleinerung der Meßgröße - gaben den Ausschlag für die Wahl dieses Verfahrens.

Bei der zu erwartenden geringen Abrasion von weniger als ein μm sollte die Meßstrecke, um relativ nahe an diesem Wert zu bleiben, ein bis zwei μm nicht überschreiten. Ein Endpunkt dieser Strecke befindet sich auf der Abrasionsfläche. Der zweite Meßpunkt, der Fixpunkt, darf weder der Abrasion unterliegen, noch darf er den Versuch beeinflussen. Seine Höhenabweichung vom Meßpunkt auf der Oberfläche soll so groß sein wie die Entfernung der beiden Meßpunkte voneinander. Diese Forderung ist nur dann erfüllt, wenn der Fixpunkt senkrecht unter dem Meßpunkt der Abrasionsfläche liegt. Befindet er sich seitlich davon, so ist die Änderung der Höhendifferenz der beiden Meßpunkte nicht von der Abrasion allein abhängig. Eine Verbiegung des Probekörpers führt um so mehr zur Höhenänderung nur eines Punktes, je weiter die Meßpunkte horizontal voneinander entfernt sind.

Der Grund einer schmalen Rille enthält auf einer Linie Fixpunkte, die beinahe senkrecht unter dem Rand der Abrasionsfläche liegen. Die Form der Rille ist gegeben durch die Form des Meßinstrumentes, das die Rillentiefe bestimmt. Es ist der Profilograph von Dr. Förster, Reutlingen. Sein Oberflächentaster hat einen Spitzenradius von 10 μm . Da er mit Sicherheit den Rillengrund erreichen muß, hat der Querschnitt der Rille einen etwas größeren Radius. Reichlich zehn Mal so groß ist der Radius einer Borste der im Versuch verwendeten Zahnbürsten. Die den Prüfkörpern anliegende Borsten-

fläche erhält durch eine noch zu beschreibende Vorbehandlung einen noch weit größeren Radius. Dadurch ist sichergestellt, daß der Rillengrund nicht abradiiert wird. Kontrollversuche beweisen dies.

Die Genauigkeit der Rillentiefenmessung wird durch Störfaktoren kaum beeinflusst. Eine Änderung der Rillentiefe läßt sich durch Verbiegung des Prüfkörpers praktisch nicht erreichen. Nur die Quellung hat einen Einfluß. Wie aus Formel III hervorgeht bewirkt eine Massezunahme eines Paladonkörpers von 3 % eine Längsenänderung von nur 1,17 %. Eine Rille von $2\text{ }\mu\text{m}$ Tiefe verändert sich demnach bei einer Quellung von 3 % um $0,0234\text{ }\mu\text{m}$. Der bei dieser Tiefe anwendbare Meßbereich des Profilographen von $3\text{ }\mu\text{m}$ gestattet jedoch nur eine Abweichung von $0,05\text{ }\mu\text{m}$ zu bestimmen, d.h. selbst diese große Quellung ist bei diesem Meßverfahren kaum von Bedeutung. Dennoch arbeitet der Profilograph genauer als eine Waage, die BIESKES (3) Anforderung auf Unterscheidung von $0,05\text{ mg}$ erfüllt. Ihre Genauigkeit läßt sich mit Formel I auf Längengenauigkeit umrechnen. Bei den in dieser Arbeit benutzten Prüfkörpern mit einer Abrasionsfläche von ca. $5 \times 14\text{ mm}$ entspricht der Wägegenauigkeit von $0,05\text{ mg}$ bei einem Paladonkörper eine Längengenauigkeit von $0,61\text{ }\mu\text{m}$.

Wie eben gezeigt wurde, läßt sich eine Materialschicht mit der Rillentiefenmessung um reichlich eine Zehnerpotenz genauer bestimmen als durch Wägen und anschließende Umrechnung der Masse in Materialstärke entsprechend Formel I. Wichtig ist jedoch für das Versuchsergebnis, daß nach dem Versuch die Rille wieder an der gleichen Stelle gemessen wird. Da dies kaum möglich ist, muß die Rille überall die gleiche Tiefe haben, weil dann das Versuchsergebnis vom Ort der Messung unabhängig ist.

IV. Abrasionsmaschine

Die Abrasionsmaschine entstammt eigener Entwicklung. Sie besteht aus einem rollengelagerten Schlitten von 52 cm Länge und 5,5 cm Breite, der durch einen Exzenter 5 cm hin und her bewegt wird. Über ein Schnecken- und ein Planetengetriebe wird der von einem Elektromotor getriebene Exzenter auf eine Drehgeschwindigkeit von 180 U/min gebracht. Zwei in dieser Frequenz schwingende Federn halten den Schlitten in Bewegung, so daß der Motor nur die Reibung zu überwinden hat. Da die dauernd wechselnde Beschleunigung und Bremsung der schwingenden Masse von den Federn übernommen wird, läuft die Maschine gleichmäßiger und bedeutend leiser. Voraussetzung für die störungsfreie Koppelung der Sinusschwingung einer Spiralfeder mit der exzenterbedingten Schwingung ist die Gleichartigkeit beider Bewegungen. Sie ist nicht vollständig gegeben, weil nur die Projektion der gleichmäßigen Drehbewegung des Exzenters einer Sinusschwingung entspricht. Da das Pleuel die kreisförmige Bewegung in eine lineare überträgt, entsteht eine leichte Abwandlung von der Sinusschwingung, die jedoch den Bewegungsablauf nicht stört.

An den Stirnseiten des horizontal schwingenden Schlittens sind Arme angebracht, die den Prüfkörperhalter aufnehmen. Dieser hat auf beiden Seiten eine 3 mm tiefe Schwalbenschwanzführung, in die jeweils auf eine Länge von 45 cm Prüfkörper eingeschoben werden können. Gegenüber jeder Führung befindet sich eine Schiene zur Aufnahme von Bürsten. Über Federn, die zwischen die sich gegenüberliegenden Halter der Bürstenschienen gespannt werden, lassen sich die beiden Bürstenschienen aufeinander zu bewegen und somit auf die Prüfkörper drücken. Unter dieser Belastung wandern

die Bürsten seitlich zur Bewegungsrichtung der Prüfkörper aus. Gegen diese Abweichung sind verstellbare Führungsleisten angebracht, die die Borsten in der gewünschten Richtung halten.

Da der Prüfkörperhalter und die Bürstenschienen über längere Verbindungsstücke befestigt sind, lassen sich diese Teile in ein Wasserbad tauchen, während die übrigen Elemente der Maschine trocken bleiben.

Ein Zählwerk registriert die in einer Richtung ausgeführten Hübe.

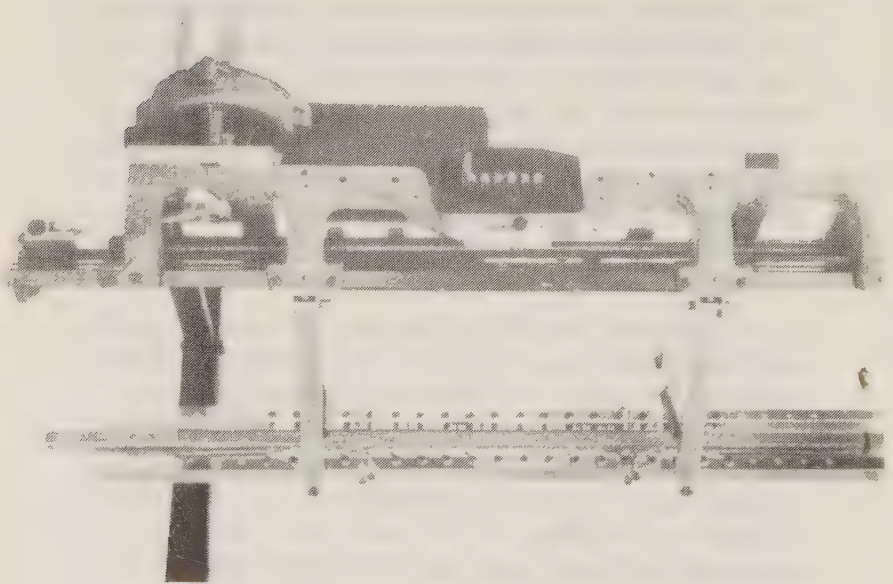


Abb. 1 Abrasionsmaschine

V. Prüfkörperherstellung

Die Rille in den Prüfkörpern soll überall die gleiche Tiefe haben und nur geringfügig breiter sein als die Tasterspitze. Damit alle Prüfkörper die gleiche Qualität bei gleicher Abmessung erhalten, empfiehlt es sich, ein Urmodell herzustellen, das als Werkzeug für eine mehrfach verwendbare Form dient. In diese Form kann Kunststoff gegossen oder gepreßt und anschließend zu den gewünschten Prüfkörpern polymerisiert werden.

1. Herstellung des Urmodells

Versuche mit Messing, eine plane Oberfläche möglichst ohne Rauigkeit zu erhalten, führten zu keinem befriedigendem Ergebnis. Auf der Suche nach einem geeigneten Material bot sich Fensterglas an, das durch seine guten optischen Eigenschaften hohe Qualität vermuten läßt. Tests mit dem Oberflächentaster im empfindlichsten Meßbereich von $0,3\mu\text{m}$ zeigten Rauigkeiten von maximal $0,01\mu\text{m}$. Dieser gute Wert und die Beständigkeit gegenüber Oxydation und Kratzern, die auf Messing schon bei vorsichtiger Reinigung entstehen können, machte Fensterglas zum geeigneten Material.

Es konnte keine Firma gefunden werden, die eine Rille von $12\mu\text{m}$ Radius und $2\mu\text{m}$ Tiefe in Glas ritzt. Mit einem für die Bearbeitung von Glas und Porzellan ausgelegten Widia-Plättchen wurde deshalb die Glasbearbeitung erprobt. Ein stumpfer Schneidewinkel von ca. 20° und eine exakte Schneidekante erwiesen sich als geeignet, um Glas wenigstens über einige Zentimeter splitterfrei zu ritzen. Der Mißerfolg zeigte sich am Rand der Rille durch Reflexion des Lichtes im feinen Spalt zwischen dem kleinen Splitter und dem übrigen

Glas. Dies war unter dem Mikroskop besonders deutlich zu sehen.

Die Form der Schneidekante bestimmt die der Rille. Deshalb erfolgte das Schleifen des Widia-Plättchens unter laufender Kontrolle durch ein Mikroskop, in dessen Blickfeld Kreise mit geeichtem Durchmesser waren.

Nachdem die Rillenherstellung prinzipiell gesichert war, wurde ein Gerät hergestellt, das eine genaue Tiefeneinstellung ermöglicht. Es besteht aus zwei 4 mm voneinander entfernten Auflagepunkten, deren Verbindungslinie die Drehachse des gesamten Gerätes darstellt. 0,3 mm vor dem Mittelpunkt jener Verbindungslinie befindet sich die Schneide des Widia-Plättchens, während sich 80 mm hinter der Verbindungslinie der Auflagepunkt einer Schraube befindet. Wurde die Schraube herausgedreht, so senkte sich die Schneide entsprechend der verschiedenen langen Hebelarme geringfügig in das zu bearbeitende Material. Die Glasscheibe mußte beim Ritzen der Rille auf einer massiven planen Fläche aufliegen, weil sich sonst die Scheibe hätte verbiegen können, was einem Verdrehen der Höheneinstellschraube gleichgekommen wäre.

Aus einer Serie von Rillen wurde ein einwandfreies 5 mm langes Stück ausgesucht, das in der Mitte des Urmodells senkrecht zur Längsachse liegen sollte. Entsprechend dieser Anforderung wurde aus der 3 mm dicken Scheibe ein ungefähr 10 x 16 mm großes Stück herausgeschnitten. Die endgültigen Abmessungen erhielt das Glas durch Schleifen auf einer horizontal rotierenden Scheibe, auf die mit Wasser vermischtes Schleifmittel gestrichen wurde. Das grobe Schleifen erfolgte mit Siliziumkarbid der Körnung 280, das feine Schleifen mit der Körnung 800. Anschließend wurden die vom

Schleifen rauhen Flächen mit Glaspoliermittel und einer Wollschwabbel auf Hochglanz poliert.

Die Längsflächen des 3 mm dicken und 14 mm langen Urmodells bilden einen Winkel von 60° zueinander, wodurch sich das Modell von der 5 mm breiten Abrasionsfläche zur Basisfläche hin verbreitert und in der Schwalbenschwanzführung der Abrasionsmaschine Halt findet.

2. Herstellung der Form

Zur Formherstellung bestanden zwei Möglichkeiten, die beide nebeneinander erprobt wurden. Zum einen konnte man das Urmodell mit hohem Druck in ein Material pressen, zum anderen konnte man es ohne besondere mechanische Beanspruchung mit einem Material überziehen. Diese zweite Möglichkeit bestand im Bedampfen mit Silber und anschließendem Verstärken dieses dünnen Metallüberzuges. Im Kupferbad löste sich beim ersten Versuch der Silberüberzug sofort vom Glas. Als dieser Fehler behoben war, verzog sich die Kupferschicht mit zunehmender Dicke so stark, daß eine völlig unbrauchbare Form entstand. Aus diesem Grund wurde nur noch die erste Möglichkeit, nämlich mit dem Urmodell eine Form zu prägen, weiter verfolgt. Zinn bot sich als Prägematerial an, da es ein sehr gutes Fließvermögen besitzt und als ausgezeichnetes Isoliermittel gegenüber Kunststoffen bekannt ist. Ein Aluminiumklotz, der auf seiner Oberseite eine Vertiefung hat, diente zur Formgebung eines Stückes Lötzinn, damit es beim Prägen nicht flachgedrückt wird, sondern sich auch seitlich dem Glaskörper anpreßt. Vier Tonnen genügten, um das Urmodell mit einer hydraulischen Presse im Lötzinn zu versenken. Mit einem Stempel, der in die Vertiefung des Aluminium-

klotzes eingelassen ist, konnte man die Zinnform ohne Beschädigung aus dem Aluminium entfernen. Schwieriger war es dagegen, das Urmodell vor Beschädigungen zu schützen, denn Glas hält hohen Druck aber nur sehr geringe Verbiegungen aus. Deshalb war es erforderlich, daß der Glaskörper beim Pressen einem dicken Stahlklotz anliegt, der jeglicher Verbiegung widersteht. Das Glas mußte außerdem so exakt anliegen, daß wenige Newtonsche Ringe zwischen Glas und Stahl zu sehen waren.

Die Qualität der Prägeflächen hängt von der Sauberkeit des Glaskörpers und des Zinns ab. Während das Glas leicht zu reinigen war, benötigte man beim Zinn etwas Geschick, um die Oxydschicht möglichst glatt abzuschaben. Die nicht ganz zu vermeidenden Unebenheiten zeigten sich nach dem Prägen als ganz leichte Wellen, die nur bei bestimmtem Lichteinfall auf der spiegelnden Metalloberfläche zu sehen waren. Sie sind Zeichen der elastischen Komponente der überwiegend plastischen Verformung. Durch Erwärmen des Metalls bis kurz vor den Schmelzpunkt läßt sich diese Spannung aufheben. Der Glaskörper wurde deshalb nach dem Pressen im Zinn belassen und unter dem geringen Druck eines Kuvetterbügels in einem Heißluftschrank langsam bis auf 170° erwärmt. Bei dieser Temperatur verlor das Stangen-zinn mit 40 % Zinngehalt innerhalb von 30 Minuten seine Spannungen. Nach dem langsamen Abkühlen konnte das Urmodell einer einwandfreien, wie ein Spiegel glänzenden Form entnommen werden. Viel zu hohe Temperaturen führten zu kleinblasiger dunkel verfärbter Zinnoberfläche.

3. Polymerisation der Prüfkörper

Zur Polymerisation von Prüfkörpern im Wasserbad nach dem Stopf-Preß-Verfahren wurden zwei Zinnformen in eine dafür angefertigte Aluminiumküvette eingegipst. Sie enthält in ihrem Deckel zwei Vertiefungen, in denen sich Metallscheiben so auf die Zinnform senken können, daß sie deren Oberfläche gleichmäßig plan abdecken. In dieser Position wurden die Scheiben mit Gips im Deckel fixiert, was eine gleichmäßige Stärke der Prüfkörper garantiert.

Der nach den Vorschriften der Hersteller verarbeitete Kunststoff wies nach der Entnahme der Probekörper aus der Küvette eine scharf begrenzte Schrumpfungsvakuole auf. Sie bildete sich immer an der glattesten Oberfläche, weil dort als Folge der geringsten Rauigkeit auch der geringste Halt zwischen Kunststoff und Form bestand. Da die Schrumpfungsvakuole nur auf der Rückseite des Prüfkörpers geduldet werden konnte, mußte sich die beste Oberfläche an dieser Stelle befinden. Deshalb wurden die Metallscheiben im Küvettendeckel gegen Glas ausgetauscht, an dessen hochwertiger Oberfläche jedoch nur nach besonders guter Reinigung die Schrumpfungsvakuole entstand. Weit sicherer war es, eine dünne Kunststoffolie zwischen die Metallscheibe und den Kunststoffteig zu legen. Folie und Metall hatten so wenig Zusammenhalt, daß sie sich regelmäßig voneinander trennten und somit die Vakuole entlang ihrer gesamten Fläche entstehen ließen. Mit dieser Methode wurden Prüfkörper aus Paladon und Biodent K+B 75 hergestellt. Aus K+B 75 wurden außerdem noch Körper im Hedent/Biodent-Verfahren gefertigt, wozu die Form und irgendeine Scheibe genügte, mit der sich der Kunststoff nach dem Stopfen auf die Höhe des Formrandes begrenzen ließ. Die glei-

che einfache Herstellungsart wurde bei den im Drucktopf bei 2,8 atü polymerisierten Prüfkörpern aus Palapress angewandt. Dieses Material war erst nach kurzem Erwärmen und Abschrecken leicht aus der Zinnform zu entfernen.

Sehr fest in der Form hafteten die Komposite, von denen Adaptic, Cosmic und Estic verarbeitet wurden. Zum Entfernen diente ein 2 mm starkes mit einer Rille in den Seitenflächen versehenes Stück Messing, das etwas kürzer und schmaler war als ein Prüfkörper. Das Messingteil wurde so tief in die Komposit enthaltende Form gedrückt, daß dessen Rückfläche mit der Oberseite der Form abschloß. Dadurch bildete eine Messingfläche die Grundfläche des Prüfkörpers, dessen Material Halt in der Messingrille fand. Ein Gewinde in der Mitte des Metalls, das durch eine Madenschraube vor dem Eindringen flüssigen Kompositmaterials geschützt war, diente zur Verankerung einer Schraube, mit der der Prüfkörper aus der Form gezogen wurde.

Die Haltbarkeit der Zinnform ist nicht unbegrenzt. Schon einmaliges Benutzen verändert die spiegelnd glatte Oberfläche ganz leicht, jedoch ohne die Rillentiefe der Prüfkörper zu beeinflussen. Da für jedes Material neue Formen und pro Material gleichzeitig mit zwei Formen gearbeitet wurde, diente eine Form für höchstens 5 Körper. In einem Versuch konnte auch bei längerem Gebrauch noch keine Veränderung der Rillentiefe festgestellt werden.

Die Oberfläche der auf diese Art hergestellten Prüfkörper hat Rauigkeiten von maximal $0,05 \mu\text{m}$. Die Rillentiefe von $2 \mu\text{m}$ variiert innerhalb eines Prüfkörpers um $\pm 0,09 \mu\text{m}$.

VI. Abrasionsversuche

Die Versuche sollen so ablaufen, daß im Bereich um die Meßrille die Abrasion überall gleichmäßig erfolgt, denn nur so kann die Rillentiefenänderung an einem Ort repräsentativ für die Materialabnahme einer ganzen Fläche sein. Über jeden Punkt neben der Rille muß deshalb pro Hub die gleiche Anzahl Borsten mit gleicher Auflagekraft gleiten.

Aus Zahnbürsten der Marke Blendax Dual wurden 5 x 11 mm große Bürstenteile so ausgeschnitten, daß die Bürstenbündel der folgenden Reihe bei der Abrasion in die Lücke der vorhergehenden Reihe treffen. Die 8 Büschel eines Bürstenteils bewirkten damit ihrer Anordnung nach eine gleichmäßige Abrasion über die gesamte Breite der Prüfkörper. Drei Bürstenteile liefen pro Hubrichtung über eine Meßstelle, also pro Doppelhub wurde eine 5 mm breite Fläche von 48 Bürstenbüscheln gleich 1644 Borsten abradert. Jedes Bürstenteil war so im Halter ausgerichtet, daß alle Büschel die Prüfkörper berührten. Danach wurden die Bürsten zum genauen Angleichen 2000 Doppelhübe auf Schmirgelpapier der Körnung 400 geschliffen, das über die Prüfkörper gespannt war.

Leisten kurz vor dem Borstenende verhinderten das seitliche Ausweichen der Bürsten während des Versuchs. Sie begrenzten durch ihre Schleifspuren die Standzeit der Bürsten auf 240 000 Doppelhübe.

Pro Versuch wurden 32 Prüfkörper aus vier verschiedenen Materialien getestet. Dementsprechend erhielt jede der beiden Seiten des Prüfkörperhalters 16 Körper, wobei immer im gleichen Rhythmus zwischen Körpern aus gleichem Material drei aus anderem Material lagen. Diese Anordnung sollte bewirken, daß eventuelle örtliche Unterschiede der Versuchsbedingungen nicht

nur ein Material betreffen können.

Die Position der fast lückenlos aneinandergereihten Prüfkörper wurde am Umkehrpunkt der Abrasionsmaschine eingestellt. Dazu wurden die Körper in ihrer Führung verschoben, bis die Meßrille zwischen zwei Bürstenteilen lag.

Um keine Bürste am Ende eines Hubes ohne Funktion laufen zu lassen, war die Prüfkörperleiste an jedem Ende um drei Körper verlängert. Dies hatte den Vorteil, daß der Gesamtdruck auf die Bürsten zu jeder

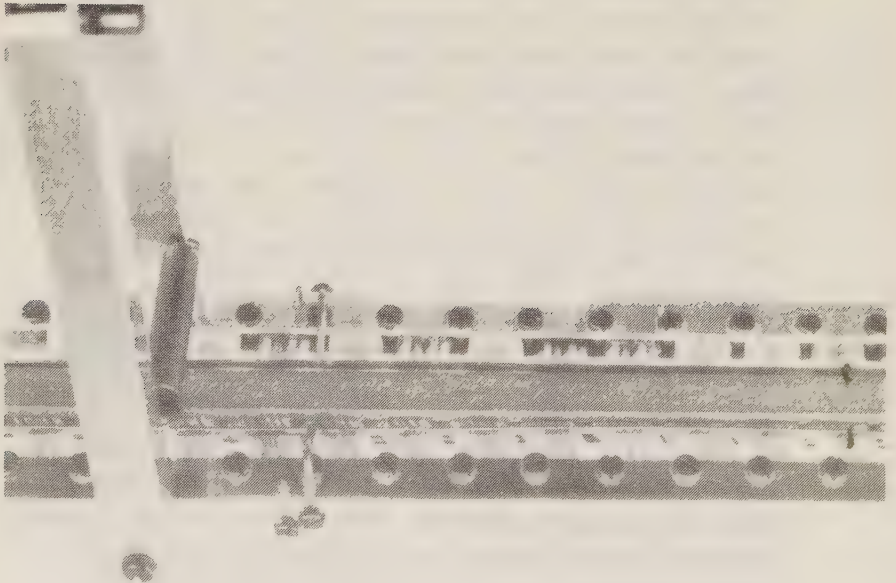


Abb. 2 Bürsten und Prüfkörper während der Abrasion

Zeit auf allen Bürsten ruhte und damit pro Borste immer konstant blieb. Der Druck auf die 18 Bürsten einer Seite betrug 1,4 kp. Unter dieser Belastung bogen sich die Borsten um ungefähr 4 mm in die jeweilige Abrasionsrichtung. Der 50 mm betragende Hub der Maschine führte infolge dieser Minderung zu einer Abrasionsstrecke pro Hubrichtung von 42 mm.

Die Versuche wurden in destilliertem Wasser von 37°C durchgeführt und erfolgten mit einer Geschwindigkeit von 180 Doppelhüben pro Minute. Der letzte, der mit 2 160 000 Doppelhüben gleichzeitig der längste Versuch war, hatte demnach eine Abrasionszeit von 200 Stunden.

Die Prüfkörper wurden bis zum Versuchsbeginn trocken gelagert. Eine vorhergehende Quellung war nicht erforderlich, weil sie nach den Darstellungen im Abschnitt III bei dem hier angewendeten Meßverfahren eine zu vernachlässigende Rolle spielt.

Bei der Messung blieben die Prüfkörper in ihrem Halter, der leicht aus der Maschine herausgenommen werden konnte.

VII. Ergebnisse

1. Bedeutung der Meßwerte

Die Ergebnisse der Rillentiefenmessung zeichnet der Profilograph auf einen Papierstreifen von 30 mm Schreibbreite. Über maximal diese Distanz verteilen sich die Unebenheiten, die sich innerhalb des eingestellten Meßbereichs befinden. Demnach bewirkt eine 2 μ m tiefe Rille im Meßbereich von 3 μ m einen 20 mm weiten Schreiberausschlag auf dem gleichmäßig laufenden Papierband. Das aufgezeichnete Profilbild ist stark überhöht, weil die Horizontalvergrößerung wesentlich geringer ist als die Vertikalvergrößerung. Abbildung 3 zeigt mehrere Aufzeichnungen im Meßbereich von 3 μ m, aus denen die Tiefe der Meßrille deutlich zu erkennen ist.

2. Statistische Auswertung

Mit Hilfe der statistischen Auswertung sollten die Mittelwerte der Rillentieftiefenmessung in bezug gesetzt werden zur Streuung der Einzelwerte, um damit unter Anwendung statistischer Hypothesen zu Wahrscheinlichkeitsaussagen zu gelangen. Als erstes Verfahren wurde die Varianzanalyse gewählt. Ihr schloß sich die Berechnung der Konfidenzintervalle für die Mittelwertskontraste nach dem TUKEY-Verfahren an. Einzelheiten der Statistik können der Fachliteratur entnommen werden (25). Deshalb sollen die folgenden Erklärungen nur dem leichteren Verständnis der Tabellen dienen. Die Varianzanalyse eliminiert aus der Gesamtstreuung der Meßergebnisse die Streuung einzelner Einflußgrößen (Faktoren) sowie deren gegenseitige Beeinflussung (Wechselwirkung) und beurteilt diese unabhängig voneinander. Sie sind in der Spalte "Faktoren u. Ww." der Varianzanalysetabellen zu finden. Die nächste Spalte enthält unter der Bezeichnung SAQ (=Summe der Abweichungsquadrate) die zugehörigen Anteile an der Gesamtstreuung. Der Quotient von SAQ/FG ergibt die Werte der Spalte MAQ (=mittlere Abweichungsquadrate), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen. Die letzte Spalte ($p=0,01$) enthält den Tabellenwert für den F-Test, der der Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % entspricht. Ist der errechnete F-Wert (vorletzte Spalte) größer als dieser Tabellenwert, so besteht mit 99 %iger Wahrscheinlichkeit ein Einfluß der in Spalte 1 angegebenen Art. Man spricht in diesem Fall von einem statistisch signifikanten Ergebnis. Signifikante Werte sind gekennzeichnet durch folgende Zeichen rechts oben von der betreffenden Zahl: ++

Die Beurteilung der Mittelwertsdifferenzen wird mit Hilfe von Konfidenzintervallen erreicht. Die hier be-

nutzten von TUKEY angegebenen Konfidenzintervalle haben die Form:

$$\hat{L} - \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f} \leq L \leq \hat{L} + \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f}$$

$\hat{L}$ = der zu beurteilende Mittelwerkskontrast der Stichprobe

L = der entsprechende Kontrast der Grundgesamtheit

$\frac{MAQ_N}{r}$ = Varianz des Kontrastes

MAQ_N = das aus der Varianzanalysetabelle entnommene
MAQ

r = die Anzahl der jedem Mittelwert zugrundeliegenden Einzelmessungen

$q_{1-p/k/f}$ = die obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereiches

$1-p$ = Sicherheitswahrscheinlichkeit

k = Anzahl der Mittelwerte

f = Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N

Eine Mittelwertsdifferenz L ist dann signifikant von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f}$$

Die signifikanten Werte im TUKEY-Test befinden sich innerhalb der doppelt umrandeten Felder der betreffenden Tabellen.

3. Aufstellung der Ergebnisse

Alle hier nicht aufgeführten Parameter der Versuche wurden in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben. Es soll deshalb im folgenden nur das erwähnt werden, was die Versuche voneinander unterscheidet.

Die Werte in den Tabellen sind, falls nicht anders vermerkt, die in Millimeter Schreiberausschlag angegebenen Mittelwerte aus fünf Messungen pro Körper in Abhängigkeit von der Anzahl der Doppelhübe. Die Einzelwerte stehen aus Gründen der Übersichtlichkeit am Ende dieses Abschnittes in Tabellen, deren Nummern um 100 größer sind als die der zugehörigen Mittelwertstabellen.

a) Versuch Nr. 1

In diesem Versuch wurden Prüfkörper mit einer Meßrille von $0,9\mu\text{m}$ Tiefe verwendet. Demzufolge arbeitete der Profilograph im Meßbereich von $1\mu\text{m}$.

Tabelle 1

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von im Stopf-Preß-Verfahren und durch Polymerisation im Wasserbad hergestellten Prüfkörpern aus Biodent K+B 75

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	25,8	27,4	27,4	28,3	25,8	28,4	27,6	27,8
8	24,2	24,0	24,4	19,2	23,8	21,0	21,0	22,6
16	23,6	22,0	21,2	18,2	22,2	23,4	22,8	20,8
24	21,6	21,2	18,8	17,6	22,0	23,0	22,8	20,4

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 2

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 1

B	C	D	E
0	27,30	0	0
8	22,52	4,78	0,159
16	21,77	5,53	0,184
24	20,92	6,38	0,213

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $D = 27,30 - C$, $E = \frac{D}{30}$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 3

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von im Hedent/Biodent-Verfahren hergestellten Prüfkörpern aus Biodent K+B 75

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	26,2	27,6	27,4	26,0	25,8	24,8	26,6	26,8
8	23,8	21,8	24,2	22,8	22,8	19,8	20,2	21,4
16	23,0	22,2	22,4	22,0	21,4	20,6	22,6	20,4
24	21,0	19,8	20,4	20,2	21,8	20,6	21,4	19,8

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 4

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 3

B	C	D	E
0	26,40	0	0
8	22,10	4,30	0,143
16	21,82	4,58	0,153
24	20,62	5,78	0,193

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, D = 26,40 - C, $E = \frac{D}{30}$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 5

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Palapress

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	25,4	26,2	26,8	26,8	26,6	26,0	26,8	26,4
8	24,2	22,4	22,4	23,0	23,0	21,0	22,0	17,2
16	23,6	22,2	22,0	23,4	20,6	21,6	21,2	20,4
24	23,8	21,8	18,6	21,8	21,2	19,4	18,2	18,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 6

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller
Prüfkörper der Tabelle 5

B	C	D	E
0	26,38	0	0
8	21,90	4,48	0,149
16	21,83	4,55	0,152
24	20,35	6,03	0,201

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller
Messungen, $D = 26,38 - C$, $E = \frac{D}{30}$ Dies ist die Abra-
sion in μm

Tabelle 7

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag
von Prüfkörpern aus Paladon

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	26,0	27,0	26,2	26,4	26,6	26,2	25,8	26,4
8	23,0	20,4	24,6	20,8	22,8	20,4	21,0	20,8
16	21,4	19,6	20,6	20,2	21,8	20,2	21,6	20,4
24	20,0	20,2	19,4	19,8	19,4	23,2	21,0	22,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 8

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 7

B	C	D	E
0	26,32	0	0
8	21,72	4,60	0,153
16	20,72	5,61	0,187
24	20,62	5,71	0,190

B = Doppelhübe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $D = 26,32 - C$, $E = \frac{D}{30}$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 9

Varianzanalysetabelle

Faktoren und Ww.	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	p=0,01
Material	50,77	3	16,92	1,12	4,57
Abrieb	3399,57	3	1133,19	138 ⁺⁺	4,03
Körper	423,44	28	15,12	3 ⁺⁺	1,87
Messungen	644,40	128	5,03	1,03	1,44
Material/Abrieb	31,60	9	3,51	0,4	2,63
Abrieb/Körper	684,98	84	8,15	1,66 ⁺⁺	1,47
Rest	1880,60	384	4,90		

Wie die Varianzanalyse zeigt, ist der Abrieb, nicht aber der Materialunterschied signifikant. Die Abriebstufen sind aus den Tabellen 2, 4, 6 und 8 ersichtlich. Sie lassen eine asymptotische, zum Schluß stark abnehmende Abrasion erkennen. Deshalb lag die Vermu-

tung nahe, daß im Verlauf des Versuchs der Grund der Meßrinne von den Borsten erreicht und abradiert wurde. Dies trifft nicht zu, denn die Rinne war nach jedem Versuch nur verschmutzt. Erst nachdem sie mit etwas Watte ausgewischt worden war, konnte eine deutliche Tiefe gemessen werden, die auch durch weiteres Wischen nicht verändert werden konnte. Die Notwendigkeit dieser einfachen Reinigung war somit der Beweis, daß der Rillengrund keinen Kontakt mit den Borsten hatte.

Der signifikante Unterschied zwischen den Körpern ist zu erwarten, da ein Herstellungsablauf nicht einem zweiten identisch sein kann, besonders wenn verschiedene Kunststoffe verwendet werden. Monomeranteil, Polymerisationsart und Materialart können dabei einen Einfluß haben. Auch bei Abrieb/Körper ist der signifikante Unterschied auf Unterschiede in der Herstellung zurückzuführen.

b) Versuch Nr. 2

Um in den Bereich der linearen Abrasion zu gelangen und Materialunterschiede feststellen zu können, wurde eine wesentlich größere Abrasion nötig als im ersten Versuch. Deshalb erhielten die Prüfkörper dieses Versuchs eine Rinne von $2\text{ }\mu\text{m}$ Tiefe. Der Profilograph mußte dazu auf den Meßbereich von $3\text{ }\mu\text{m}$, also den nächst höheren, eingestellt werden.

Tabelle 10

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von im Stopf-Preß-Verfahren und durch Polymerisation im Wasserbad hergestellten Prüfkörpern aus Biodent K+B 75

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,7	19,6	19,4	20,7	21,3	20,9	21,0	19,2
8	18,9	18,2	18,6	17,8	20,3	19,1	19,8	17,1
24	18,6	19,1	18,9	17,4	20,0	17,7	19,2	17,6
32	18,5	18,3	18,7	18,8	20,1	18,3	18,6	17,3
48	18,4	18,5	17,6	17,9	20,0	18,6	19,3	18,1
120	17,4	17,7	17,5	17,5	19,7	19,0	17,9	16,6
168	16,6	17,9	18,0	16,5	17,7	16,4	17,5	15,5

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 11

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 10 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₃₂	F-F ₄₈	F-F ₁₂₀
0	20,35						
8	18,73	0,162					
24	18,56	0,179	0,017				
32	18,58	0,177	0,015	-0,002			
48	18,55	0,180	0,018	0,001	0,003		
120	17,91	0,244	0,082	0,065	0,067	0,064	
168	17,01	0,354	0,172	0,155	0,157	0,154	0,090

B = Doppelhübe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $F = (20,35 - C) / 10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 12

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von im Hedent/Biodent-Verfahren hergestellten Prüfkörpern aus Biodent K+B 75

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,6	20,2	19,1	19,9	19,8	18,1	20,9	19,1
8	18,8	18,3	18,3	18,5	18,4	18,6	19,7	18,6
24	17,9	19,3	18,3	18,5	18,4	17,5	19,5	18,8
32	17,8	18,4	18,5	18,1	18,6	17,6	18,6	17,3
48	18,4	19,1	19,4	18,4	17,5	18,6	18,6	17,3
120	17,7	16,3	18,4	18,2	17,7	17,4	17,9	18,2
168	18,0	16,2	18,1	18,1	17,4	16,2	18,8	17,1

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 13

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 12 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₃₂	F-F ₄₈	F-F ₁₂₀
0	19,71						
8	18,65	0,106					
24	18,53	0,118	0,012				
32	18,11	0,160	0,054	0,042			
48	18,41	0,130	0,024	0,012	-0,030		
120	17,73	0,198	0,092	0,080	0,038	0,068	
168	17,49	0,222	0,116	0,104	0,062	0,092	0,024

B = Doppelhübe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $F = (19,71 - C) / 10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 14

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Palapress

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,2	19,9	20,6	19,2	19,5	21,0	20,0	19,4
8	18,2	18,1	18,5	17,8	19,0	20,0	18,7	18,2
24	18,2	18,3	17,9	16,9	17,8	19,4	19,3	18,5
32	17,0	18,0	17,7	16,5	17,7	18,4	17,6	18,0
48	16,6	17,2	17,4	16,8	17,5	18,2	17,6	18,4
120	16,9	17,1	15,8	16,7	18,0	18,4	17,8	16,6
168	15,4	15,9	15,0	14,1	16,5	15,9	16,1	14,4

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 15

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 14 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₃₂	F-F ₄₈	F-F ₁₂₀
0	19,98						
8	18,56	0,142					
24	18,29	0,169	0,027				
32	17,61	0,237	0,095	0,068			
48	17,46	0,252	0,110	0,083	0,015		
120	17,16	0,282	0,140	0,113	0,045	0,030	
168	15,41	0,457	0,315	0,288	0,220	0,205	0,175

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $F = (19,98 - C) / 10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 16

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag
von Prüfkörpern aus Paladon

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	18,8	19,3	20,2	19,8	20,6	20,0	20,0	19,5
8	18,5	18,5	18,9	19,1	19,4	18,7	18,9	18,9
24	18,0	17,9	18,6	18,4	19,3	18,7	18,1	18,7
32	18,0	17,7	18,2	18,3	18,7	18,8	17,8	16,9
48	18,2	17,1	18,4	17,6	18,2	18,1	17,9	17,1
120	16,0	15,6	15,3	16,0	16,1	16,1	15,7	15,7
168	16,9	14,9	14,2	13,6	15,2	14,2	14,4	13,7

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 17

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 16 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₃₂	F-F ₄₈	F-F ₁₂₀
0	19,78						
8	18,86	0,092					
24	18,46	0,132	0,040				
32	18,05	0,173	0,081	0,041			
48	17,83	0,195	0,103	0,063	0,022		
120	15,81	0,397	0,305	0,265	0,224	0,202	
168	14,64	0,514	0,422	0,382	0,341	0,319	0,117

B = Doppelhübe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $F = (19,78 - C) / 10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 18

Varianzanalysetabelle

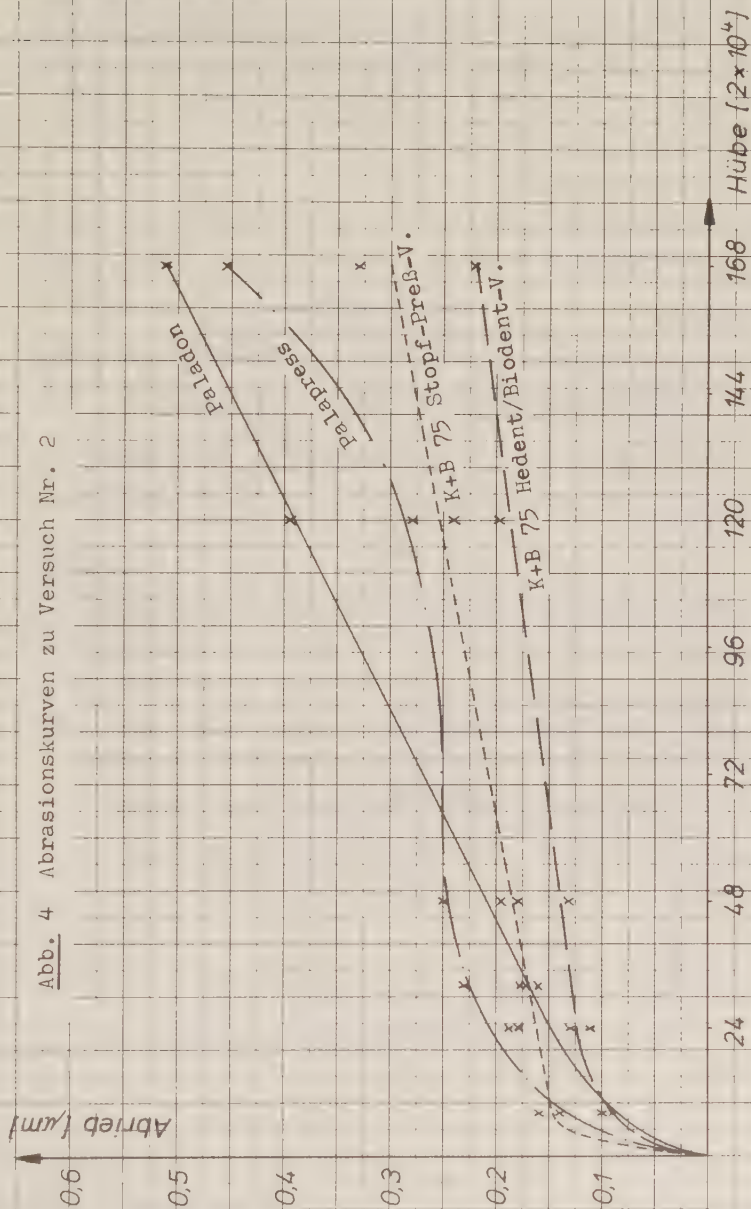
Faktoren u. Ww.	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	p=0,01
Material	161,26	3	53,75	5,53 ⁺⁺	4,57
Abrieb	1387,15	6	231,19	147,4 ⁺⁺	2,91
Körper	272,17	28	9,72	4,73 ⁺⁺	1,88
Messungen	263,03	128	2,04	1,87 ⁺⁺	1,4
Material/Abrieb	224,63	18	12,48	7,90 ⁺⁺	2,07
Abrieb/Körper	265,55	168	1,57	1,43 ⁺⁺	1,4
Rest	843,23	768	1,10		

Wie aus den Tabellen und den Abrasionskurven zu erkennen ist, weist Paladon nach anfänglich asymptotischem Verlauf eine lineare Abrasion auf. Ebenso verhalten sich beide Herstellungsarten Biodent K+B 75, während Palapress nach scheinbar linearer Abrasion wieder überproportional Material verliert. Die Materialunterschiede sind entsprechend Tabelle 18 signifikant. Auch der unterschiedliche Kurvenverlauf der verschiedenen Kunststoffarten ist mit dem TUKEY-Test gesichert.

Die schon in Versuch Nr. 1 festgestellte außerordentlich starke Abrasion während der ersten 80 000 Doppelhübe trat auch hier auf. Wahrscheinlich ist die oberste 0,1 μ m starke Schicht durch Korrosion und ungenügende Polymerisation geschwächt. Eventuell könnte auch das Metall der Zinnform die Polymerisation beeinflussen.

Mit der nach der Polymerisation einsetzenden Korrosion dürfte zu erklären sein, weshalb im ersten Versuch die anfängliche Abrasion etwas stärker war als

Abb. 4 Abrasionskurven zu Versuch Nr. 2



im zweiten Versuch, bei dem wesentlich weniger Zeit zwischen Polymerisation und Abrasionsbeginn lag.

Wegen seiner starken und gleichmäßigen Abrasion soll Paladon im nächsten Versuch als Bezugsmaterial mitlaufen.

b) Versuch Nr. 3

Die Prüfkörper erhielten wie in Versuch Nr. 2 eine Rillentiefe von 2 μm .

Tabelle 19

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Adaptic

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	22,2	20,9	21,2	21,1	20,8	20,5	20,8	21,1
8	21,3	21,4	20,8	21,3	19,6	20,8	21,2	20,1
24	21,3	20,7	21,0	21,7	19,9	20,0	20,8	21,1
48	21,2	21,3	20,9	21,1	20,5	21,3	20,7	20,6
144	19,4	18,4	19,2	18,3	18,8	18,9	18,5	19,3
216	17,5	17,8	16,9	17,3	17,4	17,9	17,1	16,9

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 20

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 19 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₄₈	F-F ₁₄₄
0	21,08					
8	20,81	0,027				
24	20,81	0,027	0,0			
48	20,95	0,013	-0,014	-0,014		
144	18,85	0,223	0,196	0,196	0,210	
216	17,35	0,373	0,346	0,346	0,360	0,150

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, $F = (21,08 - C/10)$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 21

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Cosmic

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,9	21,1	20,9	21,2	20,4	21,5	20,9	21,1
8	20,9	21,1	20,9	20,7	20,6	20,9	20,5	20,8
24	20,2	20,4	20,9	21,0	20,0	21,4	21,7	20,8
48	21,0	20,9	20,2	21,8	20,5	20,8	20,6	20,6
144	19,3	18,8	18,1	19,0	19,3	19,1	18,9	18,5
216	17,6	17,2	16,6	16,5	17,8	17,8	17,7	17,3

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 22

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 21 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₄₈	F-F ₁₄₄
0	21,00					
8	20,80	0,020				
24	20,80	0,020	0,0			
48	20,80	0,020	0,0	0,0		
144	18,88	0,212	0,192	0,192	0,192	
216	17,31	0,369	0,349	0,349	0,349	0,157

B = Doppelhübe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, F = (21,00-C)/10 Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 23

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Estic

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,9	22,0	20,9	20,8	20,7	20,4	20,3	19,5
8	21,7	21,1	21,4	20,3	20,4	19,7	19,1	20,2
24	21,0	21,4	20,9	20,4	19,9	21,0	20,6	20,2
48	20,9	20,6	20,8	20,4	19,6	19,5	19,9	20,2
144	19,4	19,6	19,8	17,6	18,6	18,7	18,1	17,7
216	18,6	19,0	17,9	16,7	17,1	17,8	16,4	17,7

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 24

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 23 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₄₈	F-F ₁₄₄
0	20,69					
8	20,49	0,020				
24	20,68	0,001	-0,019			
48	20,24	0,045	0,025	0,044		
144	18,69	0,200	0,180	0,199	0,155	
216	17,65	0,304	0,284	0,303	0,259	0,104

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, F = $(20,69 - C)/10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 25

Mittelwerte der Rillentiefe in mm Schreiberausschlag von Prüfkörpern aus Paladon

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,1	21,0	20,8	20,3	20,8	20,6	20,9	20,8
8	19,6	20,1	20,8	19,5	19,3	19,9	19,6	19,6
24	19,7	19,5	19,4	18,9	18,6	18,4	19,3	18,5
48	19,4	18,2	18,7	17,1	18,1	18,9	19,0	17,8
144	17,3	16,5	17,1	14,5	15,8	17,2	17,2	15,2
216	15,7	14,7	16,0	10,8	14,2	15,0	15,7	11,6

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 26

Durchschnittliche Rillentiefe und Abrasion aller Prüfkörper der Tabelle 25 in Kombination mit dem TUKEY-Test

B	C	F	F-F ₈	F-F ₂₄	F-F ₄₈	F-F ₁₄₄
0	20,66					
8	19,80	0,086				
24	19,04	0,162	0,076			
48	18,40	0,226	0,140	0,064		
144	16,35	0,431	0,345	0,269	0,205	
216	14,21	0,645	0,559	0,483	0,419	0,214

B = Doppelhöhe in Zehntausend, C = Mittelwert aller Messungen, F = $(20,66 - C)/10$ Dies ist die Abrasion in μm .

Tabelle 27

Varianzanalysetabelle

Faktoren und Ww.	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	p=0,01
Material	593,57	3	197,86	26,83 ⁺⁺	4,57
Abrieb	2200,36	5	440,07	286,5 ⁺⁺	
Körper	206,50	28	7,38	6,32 ⁺⁺	1,88
Messungen	149,42	128	1,17	1,34	1,38
Material/Abrieb	189,68	15	12,65	8,23 ⁺⁺	
Abrieb/Körper	215,11	140	1,54	1,76	
Rest	558,68	640	0,88		

Auch in diesem Versuch zeigte Paladon eine starke und gleichmäßig lineare Abrasion nach anfänglich asymptotischen Verlauf. Auffällig übereinstimmend mit dem ersten Versuch wurde dieses Material abradiert, was

in der durchschnittlichen Abweichung beider Kurven von nicht mehr als $0,02\text{ }\mu\text{m}$ zum Ausdruck kommt. Dieses Ergebnis kennzeichnet die Genauigkeit des Versuchs und der Meßmethode.

Stark unterschieden sich die Komposite von den bisher getesteten Materialien. Adaptic, Cosmic und Estic verlieren unter dem Einfluß der Abrasion anfangs relativ lange beinahe keine Substanz, während die herkömmlichen Kunststoffe besonders viel verlieren. Im weiteren Verlauf ist ihre Abrasion linear, wobei sich die Steigung dieser Kurven nur unwesentlich von der des Paladons unterscheidet.

Der starke Unterschied zwischen Kunststoffen ohne Füllmaterial und den Kompositen war zu erwarten, wenn die im vorhergehenden Versuch geäußerte Vermutung über die Korrosion und den Einfluß der Zinnform auf die Polymerisation oberflächlicher Schichten zutreffen sollte, denn beides hat keine beziehungsweise eine mögliche andere Wirkung auf Füllmaterialien, die als Teil der Oberfläche deren Festigkeit mit bestimmen. Es spricht für die Vermutung über Korrosion und Zinneinfluß, das sich beide Materialarten so unterschiedlich verhalten. Gleichzeitig wird die Befürchtung entkräftet, die anfänglich starke Abrasion könnte ein methodischer Fehler der Rillentiefmessung sein.

Abb. 5 Abrasionskurven zu Versuch Nr. 3

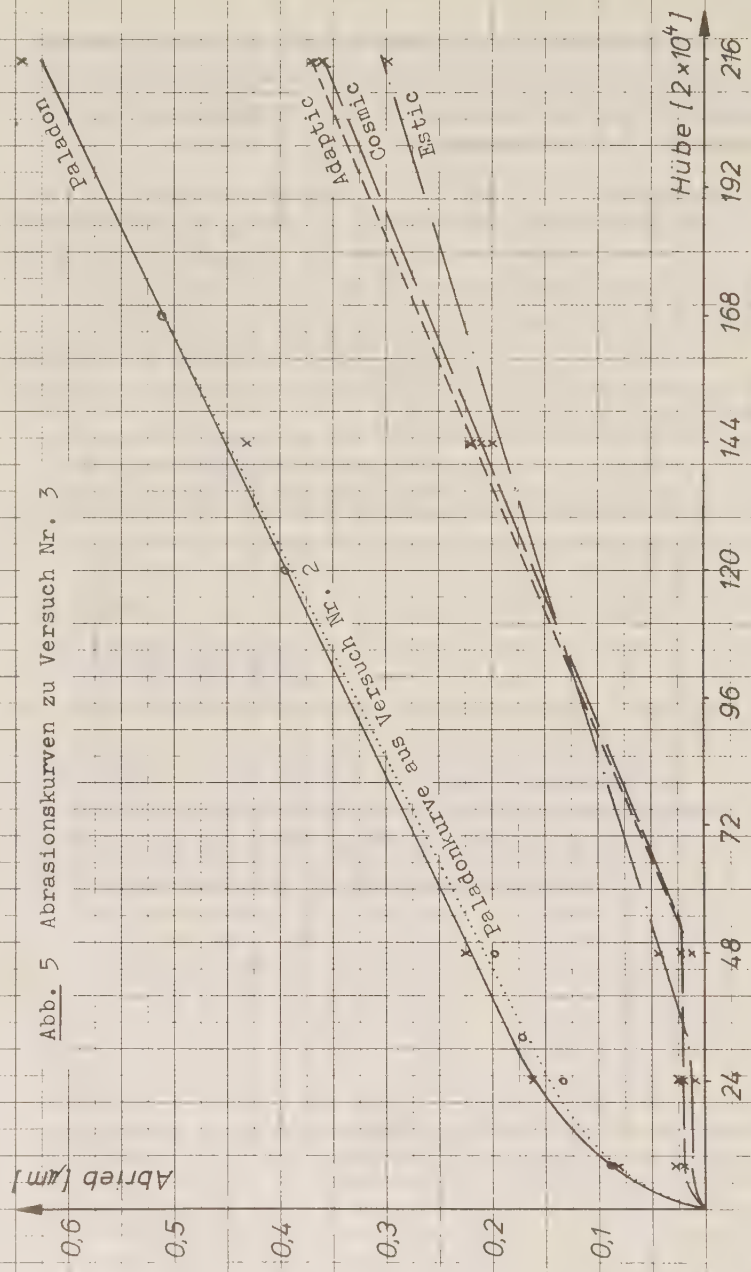


Tabelle 101

Einzelwerte zu Tabelle 1

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		28	28	26	29	28	30	24	26
		27	28	27	29	25	27	27	28
		27	28	29	30	27	27	29	30
		22	26	25	25	24	28	30	26
		25	27	30	28	25	30	28	29
8		28	26	22	19	23	21	20	20
		24	24	21	20	24	25	25	28
		24	23	25	19	24	18	21	25
		23	24	28	22	24	19	21	20
		22	23	26	16	24	22	18	20
16		21	22	24	18	20	26	25	22
		25	26	23	20	19	24	21	19
		24	24	18	18	23	25	22	21
		22	18	18	18	25	22	23	23
		26	20	23	17	24	20	23	19
24		22	22	12	14	24	16	25	21
		23	20	17	16	23	25	24	22
		21	20	20	14	24	25	21	20
		22	23	22	23	19	28	23	19
		20	21	23	21	20	21	21	20

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 103

Einzelwerte zu Tabelle 3

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		28	25	27	26	24	25	25	24
		27	28	28	27	28	24	29	26
		26	29	28	25	25	25	25	27
		26	27	27	25	25	26	28	28
8		24	29	27	27	27	24	26	29
		21	21	22	21	25	18	22	23
		29	22	26	21	20	18	20	20
		22	23	25	24	23	20	21	24
16		26	20	25	23	24	21	18	20
		21	23	23	25	22	22	20	20
		23	22	23	26	19	20	21	18
		23	21	21	21	23	17	23	19
24		22	22	23	21	22	19	21	21
		23	23	23	22	22	24	23	22
		24	23	22	20	21	23	25	22
		22	17	19	22	19	18	23	23
24		21	22	19	22	20	23	23	21
		22	21	20	19	24	20	20	20
		23	20	19	16	25	20	20	18
		17	19	25	22	21	22	21	17

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 105

Einzelwerte zu Tabelle 5

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		28	25	27	30	27	27	27	27
		25	27	28	27	28	25	27	28
		25	27	23	27	26	28	26	26
		24	25	27	23	28	26	28	25
		25	27	29	27	24	24	26	26
8		23	18	22	26	24	24	25	19
		25	23	22	22	25	23	21	14
		23	24	23	18	24	22	22	17
		27	23	22	25	24	20	22	20
		23	24	23	24	18	16	20	16
16		22	24	26	23	22	24	19	25
		25	20	20	22	22	24	20	17
		26	20	16	23	17	23	25	19
		24	25	24	23	22	17	21	20
		21	22	24	26	20	18	21	21
24		22	18	13	25	23	16	21	21
		24	25	19	22	23	17	17	15
		23	22	19	22	22	19	18	21
		23	22	21	21	19	22	19	15
		27	22	21	19	19	23	16	18

A 3 Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 107

Einzelwerte zu Tabelle 7

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		25	27	28	29	25	25	25	26
		24	27	25	26	27	25	26	25
		27	27	28	25	25	26	27	26
		27	27	26	26	27	27	24	25
		27	27	26	26	29	28	27	30
8		24	18	25	26	19	19	22	24
		26	22	24	25	25	19	19	20
		23	22	22	22	19	21	23	17
		20	22	27	22	24	21	21	20
		22	20	25	21	27	22	20	23
16		19	19	20	18	17	16	20	19
		24	19	20	22	17	20	23	20
		23	16	21	22	25	19	21	23
		20	24	17	19	25	25	23	20
		21	20	25	20	25	21	21	20
24		20	24	22	17	16	24	21	22
		21	22	19	22	21	24	20	22
		18	15	19	21	21	22	24	21
		19	20	19	19	20	24	18	23
		22	20	18	20	19	22	22	22

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 110

Einzelwerte zu Tabelle 10

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		20,5	20,0	19,0	20,5	21,0	21,0	20,0	19,0
		21,0	19,0	20,0	21,0	21,0	18,0	21,0	18,0
		21,0	19,5	20,0	20,5	21,0	22,0	21,0	20,0
		20,0	20,5	19,0	20,5	21,5	21,5	22,0	20,0
		21,0	19,0	19,0	21,0	22,0	22,0	21,0	19,0
8		18,5	17,0	19,0	17,0	20,5	20,0	18,0	18,0
		19,5	18,5	18,0	17,5	21,0	18,5	21,0	16,0
		19,0	18,0	18,5	18,5	19,5	19,5	21,0	16,5
		19,5	17,0	18,5	15,5	19,5	20,0	19,0	17,0
		18,0	20,5	19,0	20,5	21,0	17,5	20,0	18,0
24		17,0	19,0	17,5	16,0	22,0	16,5	19,0	16,5
		18,5	20,0	19,0	16,5	19,0	19,5	18,5	18,0
		20,0	18,0	19,5	18,0	20,0	16,5	19,0	18,0
		19,0	19,5	19,5	18,5	20,0	19,0	19,5	17,5
		18,5	19,0	19,0	18,0	19,0	17,0	20,0	18,0
32		18,5	18,0	18,0	16,0	20,0	19,0	18,5	16,5
		18,5	20,5	18,0	20,0	20,0	18,0	19,0	18,0
		19,0	18,0	19,0	19,0	20,5	17,0	19,5	17,0
		19,0	16,5	19,5	21,0	18,0	19,5	18,0	17,5
		17,5	18,5	19,0	18,0	22,0	18,0	18,0	18,0
48		18,0	17,0	17,0	16,5	17,0	17,5	19,0	17,0
		19,0	19,0	16,0	18,0	19,5	19,0	20,0	18,0
		19,0	20,0	18,0	19,0	20,0	17,5	19,0	19,0
		19,0	17,5	17,5	17,5	20,5	19,5	19,0	17,0
		17,0	19,0	19,5	18,5	21,0	19,5	19,5	19,5
120		15,0	15,5	16,0	16,5	20,0	19,0	17,5	17,0
		18,5	16,5	18,5	18,0	20,0	18,5	19,0	15,0
		17,0	18,0	19,0	16,5	20,0	20,0	16,5	17,0
		18,5	20,0	17,5	18,5	20,0	18,5	19,0	17,0
		18,0	18,5	16,5	18,0	18,5	19,0	17,5	17,0
168		16,0	15,0	16,0	15,5	15,0	15,5	17,0	15,0
		16,5	19,0	17,0	17,5	20,0	16,5	16,5	14,0
		17,0	19,0	19,0	16,0	16,0	17,0	19,0	18,0
		17,0	19,0	19,0	15,5	19,0	17,0	19,0	13,5
		16,5	17,5	19,0	18,0	18,5	16,0	16,0	17,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 112

Einzelwerte zu Tabelle 12

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		20,0	20,0	19,0	19,5	20,0	17,0	20,0	20,0
		21,0	20,5	19,0	20,0	20,0	17,5	21,0	20,0
		21,0	20,0	20,0	19,5	20,0	18,0	20,0	18,5
		20,5	20,5	19,0	20,0	19,0	19,5	22,5	18,5
		20,5	20,0	18,5	20,5	20,0	18,5	21,0	19,0
8		18,0	19,0	19,0	18,5	19,5	19,5	19,0	20,0
		18,0	19,0	16,0	17,0	20,0	19,0	21,5	19,0
		19,0	19,0	18,5	19,0	16,5	17,0	20,5	19,0
		19,0	18,0	19,0	19,0	17,0	19,0	17,5	18,0
		20,0	16,5	19,0	19,0	19,0	18,5	20,0	17,0
24		17,5	19,0	18,0	15,0	19,0	17,0	19,0	20,0
		18,0	19,0	17,0	19,0	18,0	18,0	20,0	18,0
		19,0	19,5	18,5	19,0	16,0	18,0	19,5	20,0
		18,5	20,0	19,0	20,5	19,0	17,5	18,5	17,0
		16,5	19,0	19,0	19,0	20,0	17,0	20,5	19,0
32		18,0	18,0	18,5	18,0	19,0	18,0	19,0	19,0
		19,0	17,0	16,0	18,0	18,5	17,0	19,0	18,0
		18,0	20,0	18,5	17,0	18,5	17,5	18,0	17,5
		17,0	18,0	19,5	19,0	19,0	17,0	17,0	15,0
		17,0	19,0	20,0	18,5	18,0	18,5	20,0	17,0
48		18,0	18,0	18,5	17,0	19,0	18,0	20,0	18,0
		18,5	19,5	19,0	18,5	19,0	18,5	19,0	18,5
		19,0	19,5	20,0	18,0	16,5	18,5	15,0	17,0
		18,5	19,5	19,5	20,0	17,0	19,0	19,0	15,0
		18,0	19,0	20,0	18,5	16,0	19,0	20,0	18,0
120		16,0	15,0	18,0	17,0	18,0	17,5	18,5	19,0
		19,0	16,0	18,0	18,0	18,0	17,5	19,0	19,0
		19,0	16,0	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0
		17,5	17,5	19,0	19,0	18,0	17,5	18,0	17,0
		17,0	17,0	19,0	19,0	16,5	17,5	16,0	18,0
168		19,0	18,0	15,0	18,0	18,0	16,0	19,0	18,0
		19,0	15,5	18,0	18,0	19,5	16,0	18,5	17,5
		17,0	18,5	19,5	18,0	17,5	15,0	18,5	16,0
		18,0	13,0	19,0	17,5	17,0	17,0	19,0	17,0
		17,0	16,0	19,0	19,0	15,0	17,0	19,0	17,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 114

Einzelwerte zu Tabelle 14

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		21,0	20,5	21,0	20,0	19,5	21,0	20,0	19,0
		20,0	20,0	20,0	18,5	20,0	21,5	19,0	20,0
		20,0	19,0	20,0	19,0	20,0	21,0	21,0	19,0
		20,0	20,0	21,0	19,0	19,0	21,5	19,0	19,0
		20,0	20,0	21,0	19,5	19,0	20,0	21,0	20,0
8		19,5	18,0	19,5	17,0	19,0	20,0	19,0	19,0
		17,0	17,0	19,0	18,0	17,5	19,0	17,0	18,5
		18,0	19,0	17,0	18,0	20,0	20,0	19,0	16,0
		18,5	18,5	19,0	18,0	19,0	21,0	18,5	18,5
		18,0	18,0	18,0	18,0	19,5	20,0	20,0	19,5
24		18,5	18,5	17,0	15,0	15,0	19,5	20,5	20,0
		18,0	17,5	19,0	16,0	18,5	18,5	19,0	19,0
		18,5	19,0	18,5	17,0	17,5	19,5	19,5	18,5
		18,5	17,5	18,5	17,0	19,0	19,0	19,5	18,0
		17,5	19,0	17,0	19,0	19,0	20,5	18,0	17,0
32		19,5	17,5	19,0	18,0	18,0	20,0	17,0	18,5
		17,0	17,0	17,5	13,5	17,0	17,0	19,5	19,5
		16,5	19,0	18,0	16,0	17,0	19,0	18,0	18,0
		15,0	17,5	17,0	18,0	18,0	21,0	16,5	17,5
		17,0	19,0	17,0	17,0	18,5	15,0	17,0	16,5
48		16,5	17,0	17,5	16,0	18,5	20,0	16,0	19,0
		18,0	16,5	17,5	15,5	19,0	18,5	17,0	19,0
		18,5	19,0	17,0	16,5	18,0	18,5	19,0	18,0
		15,0	17,0	17,0	18,0	16,0	16,0	18,0	18,0
		15,0	16,5	18,0	18,0	16,0	18,0	18,0	18,0
120		17,0	17,0	13,0	15,0	19,0	18,0	16,0	17,0
		16,0	18,0	16,0	17,5	19,0	19,0	18,0	16,5
		17,5	19,0	16,0	16,5	16,5	18,5	18,0	17,0
		17,0	17,5	17,0	17,0	18,0	19,5	18,0	17,0
		17,0	14,0	17,0	17,5	17,5	17,0	19,0	15,5
168		17,0	16,5	14,5	15,0	17,5	13,0	16,5	17,0
		16,0	16,5	13,5	12,5	16,0	18,0	17,0	15,0
		18,0	17,5	17,0	15,0	17,5	14,5	13,5	11,0
		14,0	15,5	16,0	16,0	15,0	17,0	16,5	15,0
		12,0	13,5	14,0	12,0	16,5	17,0	17,0	14,0

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 116

Einzelwerte zu Tabelle 16

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		20,0	20,0	20,0	19,0	21,0	20,0	20,0	20,5
		18,5	18,0	20,0	21,0	20,0	21,5	18,0	19,0
		16,5	19,0	21,0	19,5	21,0	20,0	21,0	18,0
		19,0	20,5	19,0	20,0	19,5	19,5	20,0	20,0
		20,0	19,0	21,0	19,5	21,5	19,0	21,0	20,0
8		18,0	18,0	19,0	18,5	20,0	19,0	19,0	20,0
		19,5	18,0	19,0	19,5	19,5	19,0	19,5	16,0
		19,0	19,0	20,0	19,0	19,0	18,0	18,5	18,5
		18,0	18,5	19,0	19,0	19,0	18,0	17,5	20,0
		18,0	19,0	17,5	19,5	19,5	19,5	20,0	20,0
24		17,5	17,5	17,0	18,0	19,0	18,0	16,0	17,5
		18,5	18,0	19,0	19,0	18,5	20,0	18,5	20,0
		19,0	19,0	18,0	18,0	19,5	19,0	18,5	19,0
		18,5	17,5	20,0	18,0	20,5	18,0	19,0	18,5
		16,5	17,5	19,0	19,0	19,0	18,5	18,5	18,5
32		18,0	15,0	18,0	18,0	19,0	18,0	17,5	17,5
		19,0	17,0	16,0	17,5	19,0	20,0	18,5	15,0
		17,5	18,5	20,0	18,5	18,5	20,0	18,0	15,0
		18,5	19,0	19,0	19,0	19,5	18,5	17,0	19,0
		17,0	19,0	18,0	18,5	17,5	17,5	18,0	18,0
48		17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,0	17,5	17,0
		17,5	17,5	17,0	16,5	17,0	18,0	18,5	17,5
		18,0	17,0	19,0	18,5	17,5	17,5	18,0	17,0
		18,5	18,0	19,5	19,0	19,5	18,0	18,0	16,5
		20,0	16,0	19,5	17,0	20,0	19,0	17,5	17,5
120		15,0	15,5	15,0	14,0	16,0	17,5	15,0	15,0
		16,0	15,0	15,0	15,0	16,0	16,5	17,0	15,0
		17,5	14,5	13,5	17,0	17,0	16,5	16,5	16,5
		16,0	15,0	17,0	17,0	16,0	15,0	15,0	15,0
		15,5	18,0	16,0	17,0	15,5	15,0	15,0	17,0
168		17,0	14,0	12,5	12,5	14,0	13,0	15,5	13,0
		18,0	14,5	14,0	14,0	16,0	15,0	14,5	13,5
		18,0	16,0	15,0	13,5	15,0	14,0	14,0	13,5
		16,5	15,0	15,5	14,5	16,0	15,5	14,0	13,0
		15,0	15,0	14,0	13,5	15,0	13,5	14,0	15,5

A = Körper, B = Doppelhübe in Zehntausend

Tabelle 119

Einzelwerte zu Tabelle 19

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		24,0	21,5	20,5	21,5	21,0	19,5	19,0	21,0
		22,5	21,5	22,0	21,0	20,0	20,0	22,0	21,0
		21,0	20,5	21,0	21,0	20,0	22,0	21,0	21,0
		21,5	20,0	20,5	21,0	21,0	20,0	21,0	22,0
		22,0	21,0	22,0	21,0	22,0	21,0	21,0	20,5
8		21,5	21,0	19,0	21,5	20,5	21,0	21,5	20,5
		20,5	21,0	21,0	22,0	18,5	20,0	21,0	20,0
		22,0	22,0	22,0	21,0	19,0	19,5	20,0	21,0
		21,0	22,5	20,5	21,0	20,0	22,0	21,0	21,0
		21,5	20,5	21,5	21,0	20,0	21,5	22,5	18,0
24		21,5	21,0	23,0	22,0	20,0	20,0	22,5	21,0
		22,5	21,0	20,0	22,5	19,5	20,5	21,0	22,5
		21,5	20,0	21,0	21,0	20,0	20,5	20,0	21,0
		21,0	20,0	20,0	22,0	20,0	19,5	20,5	21,0
		20,0	21,5	21,0	21,0	20,0	19,5	20,0	20,0
48		20,5	21,5	20,0	21,0	21,0	21,0	20,5	20,0
		20,5	20,5	21,0	21,0	20,5	19,5	21,0	20,0
		22,0	22,0	21,0	21,5	20,0	21,5	21,5	20,0
		22,0	21,5	21,5	21,0	20,5	23,0	19,5	20,0
		21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,5	21,0	23,0
144		19,0	19,0	18,0	17,0	19,0	20,0	19,5	19,0
		18,5	17,5	21,5	19,0	18,0	18,0	17,5	20,0
		19,0	18,0	19,0	19,0	18,0	17,5	20,0	20,0
		20,5	19,5	17,0	18,0	20,0	20,0	18,0	21,0
		20,0	18,0	20,5	18,5	19,0	19,0	17,5	16,5
216		16,5	18,0	17,0	17,0	20,0	18,0	17,0	19,5
		17,5	16,0	16,0	17,0	17,0	19,0	18,0	16,0
		18,0	18,0	17,5	18,0	17,0	18,0	18,5	14,5
		18,0	20,0	16,0	17,5	17,0	17,5	14,0	16,5
		17,5	17,0	18,0	17,0	16,0	17,0	18,0	18,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 121

Einzelwerte zu Tabelle 21

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		20,5	21,0	21,5	21,5	19,5	22,0	21,5	20,5
		21,0	21,0	22,0	21,0	20,0	21,0	21,0	21,5
		21,5	20,5	20,0	22,0	20,0	22,0	21,0	21,0
		21,0	21,5	21,0	20,5	21,5	21,5	20,0	21,0
		20,5	21,5	20,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,5
8		21,5	21,0	21,5	21,5	21,5	20,0	22,5	20,5
		21,5	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,5	21,5
		20,5	21,5	20,0	20,0	20,5	21,0	20,0	20,0
		21,0	20,0	21,0	20,5	21,0	21,0	20,5	20,0
		20,0	22,0	21,0	20,5	19,0	21,5	19,0	22,0
24		20,5	20,0	20,5	21,0	20,0	21,0	21,5	20,0
		20,5	20,0	20,0	21,0	20,5	22,0	23,0	23,0
		19,5	21,0	21,0	21,0	20,5	20,5	20,0	21,0
		19,5	19,5	21,0	21,0	20,0	22,0	22,0	21,0
		21,0	21,5	22,5	21,5	19,0	21,5	22,0	19,0
48		22,0	20,5	21,0	23,0	21,0	21,5	20,5	21,0
		20,0	21,0	20,0	21,5	20,5	20,5	20,5	22,0
		21,0	20,5	20,0	23,0	20,5	21,0	21,0	20,5
		21,0	22,0	19,0	20,0	20,5	21,0	21,0	19,5
		21,0	20,5	21,0	21,5	20,5	20,0	20,0	20,0
144		18,5	18,0	18,5	19,5	20,5	19,5	20,5	18,5
		20,0	19,0	18,5	20,5	19,0	20,0	19,5	20,0
		19,0	20,0	18,0	18,0	19,0	19,5	18,0	19,0
		19,5	19,5	17,5	19,0	19,0	18,5	19,0	18,0
		19,5	17,5	18,0	18,0	19,0	18,0	17,5	17,0
216		16,0	16,0	16,0	14,0	19,0	19,0	16,0	17,0
		18,0	17,0	17,0	18,0	18,5	19,0	20,0	17,0
		20,0	20,0	18,5	18,5	17,5	18,0	18,5	18,0
		18,0	17,0	16,0	17,0	17,5	18,0	16,0	17,5
		16,0	16,0	15,5	15,0	16,5	15,0	18,0	17,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 123

Einzelwerte zu Tabelle 23

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		21,0	21,5	20,0	22,0	21,5	21,0	20,0	20,0
		21,0	22,0	21,5	20,5	19,5	20,5	20,0	19,5
		21,0	23,5	21,0	20,0	20,5	20,0	21,5	18,5
		21,0	22,0	21,0	21,5	22,0	20,0	20,0	19,0
		20,5	21,0	21,0	20,0	20,0	20,5	20,0	20,5
8		22,5	20,0	21,5	21,5	21,0	19,0	19,0	20,5
		22,0	21,5	22,0	19,5	20,0	19,0	18,5	21,0
		22,0	21,0	22,5	20,0	20,0	20,5	19,5	19,5
		21,0	20,5	20,0	19,0	22,0	20,0	18,5	20,0
		21,0	22,0	21,0	21,5	19,0	20,0	20,0	20,0
24		20,0	21,5	21,5	20,5	21,0	22,0	20,5	21,0
		21,0	21,0	21,0	20,0	19,5	20,0	21,5	20,0
		21,5	22,0	21,0	20,5	21,0	21,0	21,0	19,0
		21,0	20,5	21,0	19,5	18,5	22,0	21,0	20,0
		21,5	22,0	20,0	21,5	19,5	20,0	21,0	21,0
48		21,5	20,5	21,0	21,0	20,0	18,0	21,0	20,0
		22,0	21,0	20,5	20,0	19,0	19,0	20,5	21,0
		21,0	19,5	20,5	20,5	21,0	20,0	18,5	19,0
		20,0	20,5	20,5	21,0	19,0	21,0	19,5	21,0
		20,0	21,5	21,5	19,5	19,0	19,5	20,0	20,0
144		21,0	19,5	19,5	17,5	20,5	20,5	17,5	16,0
		19,0	21,0	20,0	17,0	19,0	18,5	18,0	19,5
		19,0	18,0	18,5	18,0	19,0	18,5	18,5	17,0
		19,0	20,0	19,0	18,0	17,0	18,0	17,5	18,5
		19,0	19,5	21,0	17,5	17,5	18,0	19,0	17,5
216		19,0	17,5	19,0	16,5	18,0	17,5	17,0	17,5
		18,0	18,5	18,5	17,0	19,0	19,0	15,0	19,0
		19,0	19,5	17,0	18,0	16,0	20,0	17,0	17,5
		19,0	19,5	18,0	16,0	15,5	17,5	17,0	18,5
		18,0	20,0	17,0	16,0	17,0	15,0	16,0	16,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

Tabelle 125

Einzelwerte zu Tabelle 25

B	A	1	2	3	4	5	6	7	8
0		20,0	22,0	20,0	20,0	20,5	20,5	22,0	20,0
		21,5	20,0	21,0	19,0	19,5	20,5	21,5	21,0
		20,0	21,5	21,0	21,5	20,5	20,0	20,0	20,5
		19,0	21,5	21,0	21,0	22,0	21,0	20,0	21,0
		20,0	20,0	21,0	20,0	21,5	21,0	21,0	21,5
8		20,0	20,5	21,0	20,0	20,5	20,5	18,5	17,5
		19,5	20,5	22,0	19,0	18,5	18,0	20,0	22,0
		20,5	20,0	19,5	19,0	19,5	20,0	19,0	19,5
		20,0	18,5	20,0	18,0	19,0	20,5	20,0	21,0
		18,0	21,0	21,5	19,5	19,0	20,5	20,5	18,0
24		21,0	20,0	17,5	18,0	20,0	17,5	20,0	18,0
		19,5	19,0	19,0	20,5	18,0	18,0	19,0	19,0
		19,5	19,0	21,0	18,5	18,5	19,0	19,0	18,5
		20,0	19,0	19,5	20,5	18,5	19,0	19,0	19,0
		18,5	20,5	20,0	17,0	18,0	18,5	19,5	18,0
48		20,0	19,0	18,0	16,0	19,0	19,5	19,5	17,5
		20,0	18,5	19,0	17,5	16,5	19,0	19,0	17,5
		20,5	19,0	19,0	17,0	17,0	18,0	19,5	18,0
		19,0	18,0	18,5	17,0	19,0	19,0	18,0	18,0
		17,5	16,5	19,0	18,0	19,0	19,0	19,0	18,0
144		17,0	14,5	16,5	16,0	16,5	19,0	17,0	15,0
		17,0	17,0	16,5	12,0	15,0	17,0	18,0	15,0
		18,0	17,0	17,0	14,0	15,0	17,0	18,0	15,0
		18,0	17,0	17,5	16,5	15,5	16,0	16,5	15,5
		16,5	17,0	18,0	14,0	17,0	17,0	16,5	15,5
216		15,0	14,0	13,0	9,5	16,0	16,0	14,5	10,5
		16,0	16,0	17,0	10,0	14,5	15,0	16,0	11,5
		16,0	15,0	16,0	11,0	13,0	14,0	17,0	10,0
		16,5	15,0	17,5	12,0	13,0	15,0	17,0	13,0
		15,0	13,5	16,5	11,5	14,5	15,0	14,0	13,0

A = Körper, B = Doppelhöhe in Zehntausend

VIII. Zusammenfassung

Es wurde ein Meßverfahren entwickelt, das geeignet ist, die geringe Abrasion an Kunststoffverblendmaterialien zu messen, die eine Zahnbürste unter Wasser ohne Schleifmittelzusatz bewirkt. Mit dem auf der Rilltiefenmessung beruhenden Verfahren konnten Abrasionsunterschiede von $0,12\text{ }\mu\text{m}$ signifikant ermittelt werden.

In allen drei Versuchen ist der Abrieb statistisch gesichert. Die Versuche Nr. 2 und 3 ergaben außerdem gesicherte Materialunterschiede.

Paladon hatte im Versuch Nr. 2 und 3 am Ende den größten Abrieb aller getesteten Materialien. Es unterlag nach anfänglichem asymptotischem Materialverlust einer linearen Abrasion. Die Paladon-Abrasionskurven beider Versuche unterscheiden sich um weniger als $0,025\text{ }\mu\text{m}$ voneinander.

Palapress (im Versuch Nr. 2) zeigte eine Abrasionskurve, die sich durch statistisch gesicherten besonders starken Abrieb am Anfang und am Ende des Versuchs auszeichnet.

Im Hedent/Biodent-Verfahren polymerisiertes Biodent K+B 75 unterliegt einer etwas geringeren Abrasion als das im Stopf-Preß-Verfahren und durch Polymerisation im Wasserbad verarbeitete K+B 75. Die statistisch signifikanten Abrasionsstufen sind für beide Herstellungsarten unterschiedlich.

Die drei untersuchten Komposite, Adaptic, Cosmic und Estic, differieren in ihrem Abrasionsverhalten kaum voneinander. Sie haben eine völlig andere Abrasionscharakteristik als die übrigen Kunststoffe. Dies kommt zum Ausdruck in der relativ lang andauernden minimalen und daher statistisch keinesfalls gesicherten Ab-

rasion zu Versuchsbeginn, wo alle anderen Materialien einer besonders starken Abrasion unterliegen. Der anschließende lineare Verlauf der Komposit-Abrasionskurven unterscheidet sich in der Steigung nur geringfügig von der Steigung der Paladon-Abrasionskurve.

IX. Literaturverzeichnis

- (1) Arends, J. Wichtige Eigenschaften von Kronen- und Brückenmaterialien
Quintess. zahnärztl. Lit. 6
Juni 1973 S 55-59
- (2) Beyeler, K.
 & M. Moser Zahnabrasionen, Zahnfleischverletzungen und tägliche Mundhygiene Dtsch. zahnärztl. Z. 15. 1443 (1960)
- (3) Bieske, R.H. Neue Methode zur Untersuchung der Abriebfestigkeit zahnärztlicher Materialien
Dtsch. Stomat. 18, H8, 565 (1968)
- (4) Böhl, H. Zur Frage der Abrasion und Härte gebräuchlicher Kunststoffzähne
Med. Diss. Tübingen 1956
- (5) Bremser, E. Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der hydro-pneumatischen Heißpolymerisation nach dem Hedent-Verfahren auf Dichte, Abrieb und Härte zahnärztlicher Kunststoffe.
Med. Diss. Mainz 1971
- (6) Eichner, K. Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlin 1966 2. Auflage

- (7) Flerlage, T. Experimentelle Untersuchungen der Abrasionswirkung von Zahnbürsten und Zahnpasten an Kunststoffen, die für die Verkleidung von Kronen und Brücken arbeiten verwendet werden
Med. Diss. Münster 1968
- (8) Franz, G. Untersuchungen der Kunststoffoberfläche auf mögliche Veränderungen durch das Zähneputzen
Zahnärztl. Mitt. 22, S 1190-1195 und 23, S 1228-1234
(1974)
- (9) Gorski, D. Untersuchungen über das Dichteverhalten von in Druckpolymerisatoren polymerisierten zahnärztlichen Kunststoffen
Med. Diss. Mainz 1969
- (10) Henkel, G. Über die Korrosion der Kunststoffe
Dtsch. Stomat. 10, 828 (1960)
- (11) Höhnle, T. Über eine experimentelle Methode zur Prüfung der Abrasion von Kunststoffzähnen
Med. Diss. Saarbrücken 1972
- (12) Hoffmann, J. Experimentelle Untersuchungen der abrasiven Wirkung der Kunststoffzahnbürste am Verblendkunststoff und die Ermittlung geeigneter Prüfmethoden
Med. Diss. Hamburg 1966

- (13) Hofmann, M. Kunststoffverkleidete Kro-
nen und Brücken
Dtsch. zahnärztl. Z. 13,
502 (1958)
- (14) Janke, G. Über Abbauvorgänge an zahn-
ärztlichen Kunststoffen
Dtsch. zahnärztl. Z. 22,
684 (1967)
- (15) Meiners, H.,
J. Vahl und
A. Wesshaar Elektronenmikroskopische
Oberflächenuntersuchungen
von Putzeffekten an Kunst-
stofffüllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 29,
450 (1974)
- (16) Meyer, H. Über die Abriebfestigkeit
zahnärztlicher Kunststoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 10,
180 (1955)
- (17) Saal, v.D. Abriebfestigkeit verschiede-
ner Brückenverkleidungs-
materialien
Med. Diss. Tübingen 1973
- (18) Schiller, F. Eine Maschine zur Prüfung
der Abrasion von Kunstharz-
zähnen
Zahnärztl. Prax. 16, 15 (1965)
- (19) Schmitz, K.H., Über den Einfluß anorgani-
Emery W. Dougherty, scher Füllstoffe auf die
R. Catts, Abrasionsfestigkeit denta-
G. Müller, ler Kunststoffe
O. Komma, Quintess. zahnärztl. Lit. 9
H. Schulmeyer September 1973 S 145-151

- (20) Scholz, H. Die Untersuchung der abra-
siven Wirkung der Zahnpasten
am Verblendkunststoff und
die Ermittlung einer Methode
zur Auswertung der Ergeb-
nisse
Med. Diss. Hamburg 1966
- (21) Sieber, H. und L. Huber Sammlung mathematischer For-
meln
Ernst Klett Verlag Stuttgart
(1966)
- (22) Streitl, E.H. Zur Abrasion an Kronen- und
Brückenmaterial mit und ohne
anorganischen Füllstoff
Dent. Lab. XXII, 1198 Heft 12
(1974)
- (23) Taege, F. Vergleichende Abriebfestig-
keitsprüfungen an Kunststoff-
fen
Dtsch. Stomat. 11, H. 9/10,
S 870 (1961) (Sonderdruck)
- (24) Ude, H. Methode zur Messung der Ab-
rasion an Kunststoffzähnen
totaler Prothesen
Med. Diss. Hamburg 1961
- (25) Weber, E. Grundriß der biologischen
Statistik. Anwendung der ma-
thematischen Statistik in
Naturwissenschaft und Technik
Kapitel 45 und 46, 6. Auflage
Stuttgart (1967)

Herrn Prof. Dr. H. M a r x gilt mein besonderer Dank für die Problemstellung, die zu der vorliegenden Arbeit führte und für seine Unterstützung, die die schnelle Fertigstellung der Arbeit ermöglichte.

Herrn Prof. Dr. G. H e r r m a n n verdanke ich es, daß ich in der Werkstatt seines Institutes die für die Versuche notwendigen Apparaturen herstellen durfte.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. S c h e i d t für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Bei Herrn Dr. E. B o d e, Leiter des Biologischen Labors der Fa. Blendax, bedanke ich mich für die in den Versuchen benötigten Zahnbürsten.



LEBENS LAUF

Am 31. Juli 1945 wurde ich, Roland Thomas Sonntag, als Sohn des Zahnarztes Roland Sonntag und seiner Ehefrau Ingeborg, geb. Höpner, in Chemnitz (heute Karl-Marx-Stadt) geboren. Dort besuchte ich ab 1952 die Ludwig-Richter-Schule, die ich 1960, als unsere Familie in die Bundesrepublik Deutschland übersiedelte, aus der 8. Klasse verließ.

Am 13. Oktober 1960 trat ich in der Technischen Hochschule Darmstadt meine Lehre zum Feinmechaniker an. Die Gesellenprüfung legte ich drei Jahre später mit Erfolg ab. Danach war ich bis März 1965 in zwei Betrieben als Feinmechaniker tätig

Von April 1965 bis März 1966 erlangte ich an der Friedrich-Ebert-Schule in Wiesbaden die Fachschulreife, die zur Aufnahme in das Ketteler-Kolleg Mainz berechnigte. Nach drei Jahren legte ich an diesem Kolleg im Februar 1969 die Reifeprüfung ab. Bis zur Zulassung zum Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Sommersemester 1970 arbeitete ich wieder in meinem Beruf. Im Frühjahr 1971 legte ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Herbst 1972 die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Am 24. März 1973 heiratete ich Fräulein Gabriele Rudolph.

Mein Studium beendete ich am 20. Mai 1975 erfolgreich mit dem zahnärztlichen Staatsexamen.

Seit September 1975 bin ich als Zahnarzt in Gustavsburg beschäftigt.

